



Le città a impatto climatico zero: strategie e politiche

Ottobre 2022



Mims

Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili

Il presente documento è stato elaborato dagli esperti coinvolti dal MIMS nell'ambito della "Struttura per la transizione ecologica della mobilità e delle infrastrutture" (STEMI) istituita dal Ministro delle infrastrutture e della mobilità sostenibili con Decreto n. 504 del 10 dicembre 2021. La STEMI ha il compito di elaborare indicazioni di policy per la transizione ecologica della mobilità e delle infrastrutture, anche alla luce dell'attuale discussione in sede di Consiglio europeo del Pacchetto *Fit for 55* presentato dalla Commissione europea in attuazione della strategia del *Green Deal*. Il presente documento rappresenta una raccolta di contributi di diversi esperti sui settori più rilevanti per la decarbonizzazione delle città, rinviando al contempo per approfondimenti a quanto precedentemente trattato nel Rapporto "Cambiamenti Climatici, Infrastrutture e Mobilità Sostenibili", presentato dal MIMS il 4 febbraio 2022, e nel Rapporto "Decarbonizzare i trasporti. Evidenze scientifiche e proposte di policy" del 22 aprile 2022, dedicato alle tecnologie utili alla decarbonizzazione dei trasporti.

Editors:

Prof. Andrea Tilche (*Norwegian University of Science and Technology, MIMS*)
Prof. Francesco Luca Basile (*Università di Bologna, MUR*)
Dott. Michele Torsello (*MIMS*)

Reviewers:

Prof. Carlo Carraro (*Università Ca' Foscari Venezia, MIMS*)
Ing. Pierpaolo Cazzola (*University of California, Davis, MIMS*)
Prof. Nicola Armaroli (*CNR, MIMS*)

Supporto organizzativo:

Ing. Mirko Procopio (*MIMS*)

Indice

Le città, laboratori di innovazione verso la neutralità climatica	3
<i>Introduzione a cura di Enrico Giovannini</i>	
1. Le città a zero emissioni: da dove partono le nove città italiane candidate alla missione europea	8
<i>Andrea Tilche, Francesco Luca Basile</i>	
2. Decarbonizzare la mobilità urbana e le infrastrutture di trasporto	22
<i>Matteo Colleoni, Angela Stefania Bergantino</i>	
3. Efficientamento energetico degli edifici e soluzioni innovative di decarbonizzazione	37
<i>Stefano Corgnati, Sara Cattaneo</i>	
4. Produzione collettiva di energia rinnovabile nelle città: Positive Energy Districts, Comunità Energetiche Rinnovabili	57
<i>Francesco Luca Basile, Leonardo Becchetti, Carlo Alberto Nucci</i>	
5. Aspetti di sistema: rendere smart il sistema energetico	63
<i>Carlo Alberto Nucci, Mirko Procopio</i>	
6. Spingere verso comportamenti e investimenti virtuosi	71
<i>Riccardo Viale</i>	
7. Abbinare mitigazione e adattamento: spazi verdi e Nature-Based Solutions	76
<i>Alessandra Bonoli, Paola Mercogliano, Sara Cattaneo, Sergio Malcevschi, Giulio Senes</i>	
8. Gestione sostenibile delle risorse e delle infrastrutture idriche	92
<i>Mario Rosario Mazzola, Mara Tanelli</i>	
9. Digitalizzazione per la transizione e la resilienza	99
<i>Francesco Luca Basile, Mara Tanelli</i>	
10. Strumenti economici e di mercato a disposizione delle aree urbane	113
<i>Massimo Tavoni, Pierpaolo Cazzola</i>	
11. Strumenti di misurazione e monitoraggio degli outcome	133
<i>Sergio Malcevschi, Mara Tanelli, Massimo Tavoni</i>	

Le città, laboratori di innovazione verso la neutralità climatica

di Enrico Giovannini

Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili

Questo Rapporto raccoglie una serie di contributi di un gruppo di esperti coinvolti nella "Struttura per la transizione ecologica della mobilità e delle infrastrutture" (STEMI) del MIMS sulle politiche necessarie per il raggiungimento della neutralità climatica nelle città. Il documento intende fornire alle amministrazioni locali un quadro delle principali scelte di *policy* funzionali a ridurre l'impatto delle città sul clima, in modo da raggiungere gli obiettivi europei di riduzione al 2030 del 55% delle emissioni e di azzeramento delle stesse nel 2050, rendendo al contempo le aree urbane più resilienti ai cambiamenti climatici.

La preparazione di questo Rapporto trae occasione dalla selezione da parte della Commissione europea di nove città italiane (Bergamo, Bologna, Firenze, Milano, Padova, Parma, Prato, Roma e Torino) tra le 100 città dell'Unione europea che parteciperanno alla Missione di Horizon Europe "Climate-neutral and smart cities", avendo accettato la sfida di porsi come *front runner* per il raggiungimento dell'obiettivo della neutralità climatica già entro il 2030.

Come è noto, le città giocano nella sfida della decarbonizzazione un ruolo centrale. Pur coprendo nell'Unione europea (UE) soltanto il 4% del territorio, esse rappresentano il luogo di abitazione del 75% dei cittadini, consumano il 65-70% dell'energia e contribuiscono in misura analoga alle emissioni climalteranti. Peraltro, le previsioni esistenti indicano una chiara tendenza verso un'ulteriore sostanziale urbanizzazione^A. Pianificare, quindi, iniziative efficaci di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici nelle città è senza dubbio un elemento decisivo per il successo delle politiche climatiche.

Come ampiamente illustrato nel documento, le città, come luoghi di residenza, lavoro e socialità, presentano una prevalenza di emissioni dirette dovute alla climatizzazione degli edifici, ai trasporti e alla gestione dei rifiuti, mentre sono un centro di emissioni indirette per energia, beni di consumo, materiali da costruzione e per gli approvvigionamenti alimentari. Le forti emissioni dirette creano inoltre un problema di inquinamento atmosferico, essendo quasi sempre associate ad altri inquinanti dannosi per la salute. Pertanto, le migliori soluzioni per l'abbattimento delle emissioni climalteranti comportano anche la riduzione di gran parte degli altri inquinanti nocivi. A sua volta, il miglioramento della qualità dell'aria ha un forte impatto positivo in termini sociali ed economici^B.

^A Le Nazioni Unite stimano che il numero di persone che vivrà nelle aree urbane crescerà dalle circa 4,4 miliardi attuali a 6,7 miliardi nel 2050 <https://www.un.org/uk/desa/urbanization-expanding-opportunities-deeper-divides>.

^B Come evidenziato in modo approfondito dai Rapporti periodici dell'Agenzia Europea per l'Ambiente, <https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe-2022/europes-air-quality-status-2022>.

La rilevanza della decarbonizzazione delle città è stata messa in luce dal recente 6° Rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)^c – la principale istituzione internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici –, che ha dedicato approfonditi capitoli a questa tematica. Il lavoro dell'IPCC, anche se riguardante la questione a livello globale e concentrandosi in particolare alle aree urbane in rapida crescita nei Paesi in via di sviluppo, fornisce indicazioni che hanno ampia validità anche per le condizioni specifiche del nostro Paese^d.

Come chiaramente indicato dall'IPCC, alla luce della doppia sfida di emissioni urbane in crescita e proiezioni di impatti crescenti dei cambiamenti climatici dovuti a eventi estremi, è necessario combinare e considerare in modo integrato – specificamente nelle città – le strategie e le azioni di mitigazione e di adattamento. Queste azioni vanno quindi considerate congiuntamente nell'ambito della pianificazione strategica integrata delle città.

Per quanto riguarda la parte di mitigazione, le strategie di abbattimento radicale delle emissioni, secondo l'IPCC, devono accompagnarsi a profondi cambiamenti a livello sistemico e vanno affrontati su tre assi direzionali:

- ridurre il consumo urbano di energia in ogni settore, anche attraverso modificazioni strutturali verso città più compatte ed efficienti;
- procedere speditamente verso l'elettrificazione e l'utilizzo di fonti energetiche a bassa o nulla impronta carbonica;
- aumentare l'assorbimento e lo stoccaggio del carbonio.

Inoltre, l'effetto di politiche di mitigazione urbana, articolate su diversi piani, generano impatti positivi ben al di fuori dei perimetri urbani, riducendo le emissioni in modo maggiore rispetto alla semplice somma degli effetti dei singoli interventi, specialmente se supportati da livelli multipli istituzionali, di governo e di partecipazione.

Infine, l'IPCC evidenzia l'importanza delle infrastrutture "verdi" e "blu" capaci di offrire sia effetti di mitigazione, sia di adattamento e riduzione dei rischi, sia altri co-benefici, anche per la capacità di tali progetti di creare partecipazione. Ciò consente una maggiore accettazione delle politiche di mitigazione indirizzate ai nodi più rilevanti delle emissioni cittadine dei nostri Comuni, ovvero alla mobilità – principalmente attraverso elettrificazione e *shift* modale – e alla modernizzazione energetica degli edifici – con ricostruzione, rinnovamento e cambio di destinazione funzionale.

Questi due settori d'intervento - mobilità e rinnovamento degli edifici - sono quelli che l'IPCC ritiene centrali per città mature, come la grande maggioranza di quelle europee e italiane, che presentano minori possibilità di espansione – con consumo di suolo – in nuovi quartieri e in cui sia possibile realizzare concretamente, attraverso tecnologie già disponibili oggi, soluzioni che combinino zero emissioni o energia positiva con adattamento, resilienza, inclusione sociale, benessere e occasioni di sviluppo economico.

^c V. *Assessment Report* dei Working Group II e III IPCC <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>.

^d Utile anche consultare il Rapporto "*Energy Technology Perspectives 2016*" dell'*International Energy Agency*, molto focalizzato sulle città: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2016>

Il documento redatto dalla STEMI affronta la tematica centrale del futuro delle aree urbane concentrandosi su ambiti di *policy* rilevanti e afferenti in linea generale agli aspetti di competenza del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, che riguardano principalmente la mobilità e le relative infrastrutture, ma che coprono anche altre dimensioni infrastrutturali e, più in generale, gli aspetti della pianificazione delle aree urbane e della loro rigenerazione. Il Rapporto non tratta, invece, la tematica dei rifiuti, seppur rilevante per le città, sia per ragioni di competenza – attribuita principalmente al Ministero della Transizione Ecologica – sia perché, per la sua complessità, avrebbe necessitato di un documento dedicato.

I primi contributi del Rapporto riguardano il tema della mobilità urbana e degli edifici, così coprendo una parte rilevante delle emissioni dirette e delle fonti di inquinamento urbano, allargando poi lo sguardo alle infrastrutture verdi, alle acque urbane e al ruolo che queste rivestono per la mitigazione, l'adattamento e la prevenzione dei rischi, la salute e il benessere dei cittadini. Nei contributi successivi sono analizzate le tematiche del "come" promuovere e attuare il cambiamento, partendo dalle strategie per accompagnare verso decisioni di cambiamento famiglie e operatori economici per poi illustrare gli strumenti digitali a servizio della decarbonizzazione e dell'adattamento, nonché gli strumenti finanziari per supportare gli investimenti proposti nel documento. Infine, un ultimo capitolo è dedicato alla misurazione e monitoraggio dell'applicazione e dei risultati delle *policies*, in modo da garantire efficacia e trasparenza delle decisioni prese ai vari livelli.

Nei diversi capitoli, gli esperti – che ringrazio per la loro preziosa collaborazione – trattano i temi principali che dovranno essere affrontati da tutte le città nei prossimi 20-25 anni (e in particolare dalle nove città in modi più accelerati nella prossima decade), cercando di accompagnare le analisi dei problemi con proposte di soluzioni tecniche e di digitalizzazione, di sostituzione di tecnologie ma ancor più con soluzioni di *policy* e di *governance*. Se è vero che l'importanza delle condizioni di contesto e delle specificità territoriali/ambientali, infrastrutturali, economiche e sociali fanno sì che le soluzioni e i percorsi per raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica nelle città non possano essere univoci e debbano essere adattati al contesto di riferimento, è altrettanto vero che la scelta sulle politiche di investimento tecnologico e di regolazione devono essere oggetto di una valutazione multidisciplinare, considerando attentamente *ex-ante* i possibili impatti ambientali, sociali ed economici delle diverse opzioni.

Una visione integrata della città acquista un particolare rilievo nel facilitare l'individuazione di soluzioni *win-win* che non contribuiscano soltanto agli obiettivi climatici, ma più in generale alla sostenibilità del modello di sviluppo e a rendere le città luoghi migliori per la vita dei propri abitanti. In altri termini, la sfida che si pone di fronte alle città nel processo di transizione ecologica è epocale, in particolare nel nostro Paese in cui la distanza dai target europei di decarbonizzazione appare rilevante^E. Le amministrazioni comunali, provinciali e regionali possono e devono fare di più, anche perché molti strumenti che orientano le decisioni di investimento

^E I tassi nazionali di rinnovamento di edilizia (<https://buildecon.blog/2021/04/20/building-stock-and-renewal-rates-in-eecca-and-euroconstruct-countries-in-the-last-decade-turkey-leading-the-way/>), del parco mezzi di trasporto (<https://www.acea.auto/figure/average-age-of-eu-vehicle-fleet-by-country/>) e delle infrastrutture (https://www.iberglobal.com/files/2018-2/infrastructure_eu.pdf), ad esempio, sono stati nell'ultima decade tra i più bassi dell'Unione Europea, assai inferiori a quello che sarebbe necessario per adeguarsi nei tempi previsti agli obiettivi europei.

dipendono da scelte locali^F. D'altra parte, se ben realizzati e utilizzati, gli strumenti di pianificazione urbana – in particolare nelle loro fasi di predisposizione e di revisione – possono diventare vere occasioni di partecipazione democratica alla gestione e allo sviluppo del territorio.

Il momento storico è favorevole per assumere la prospettiva indicata da questo documento: infatti, il PNRR e le risorse di bilancio ordinario e della politica europea di coesione rappresentano un'occasione unica non solo per realizzare investimenti diretti nei settori più rilevanti in termini di emissioni, ma anche per stimolare la crescita economica e occupazione, così da generare uno sviluppo sostenibile da tutti i punti di vista, in grado di ridurre anche le disuguaglianze tra centri e periferie, tra gruppi sociali privilegiati e quelli emarginati.

Il ruolo delle nove città scelte dalla Commissione europea e delle altre città che vorranno unirsi, su base volontaria, a questo gruppo di amministrazioni sarà quello di segnare la strada, operando come laboratori di innovazione per la trasformazione delle aree urbane nel nostro Paese. Per questo il MIMS collabora in maniera convinta a questo sforzo, anche per calibrare meglio gli interventi di propria competenza che riguardano tutto il territorio nazionale.

^F I permessi di edificazione e di ristrutturazione si basano ad esempio su normative comunali. Le scelte di mobilità urbana sono delegate in gran parte alle comunità locali (così come le decisioni operative per la gestione dei rifiuti).

CAPITOLO 1

Le città a zero emissioni

Da dove partono le nove città italiane candidate alla missione europea

Prof. Andrea Tilche

Norwegian University of Science and Technology, NTNU Trondheim e Struttura Tecnica di Missione, MIMS

Prof. Francesco Luca Basile

Dipartimento di Chimica Industriale, Università di Bologna

Le fonti emissive

Per capire l'entità della sfida che le nove città italiane - già menzionate nell'introduzione del Ministro Giovannini - che si propongono di raggiungere la neutralità climatica al 2030 dovranno affrontare nei prossimi anni è necessario partire da un'analisi del contesto emissivo e dei settori rilevanti dai quali le emissioni di queste città sono originate. Questa analisi servirà quindi per poter identificare più puntualmente gli ambiti di policy in cui intervenire per favorire il raggiungimento degli obiettivi e potrà fornire indicazioni utili per l'insieme delle città italiane. Prendendo in considerazione i dati dichiarati dalle nove città al momento della loro candidatura (Tabella 1)^A, si possono chiaramente identificare gli elementi comuni e le singolarità delle diverse situazioni.

Emerge, in particolare, che le emissioni cittadine vedono un'incidenza significativa dei settori degli usi civili e dei trasporti, i quali rappresentano insieme dal 75 al 90% delle emissioni complessive^B. Le nove città si caratterizzano inoltre - per ovvie ragioni - per una ridotta quantità di emissioni del settore agricolo, che raramente insiste sull'ambito territoriale comunale delle nove città e per alcune differenze significative nell'impatto del settore industriale, il quale è riportato soltanto in cinque casi e incide in modo significativo solo per Prato, Padova e Torino (25, 25 e 21% rispettivamente delle emissioni totali).

^A Questi dati non sono facilmente comparabili tra loro sia perché ottenuti con metodologie leggermente diverse, sia perché le emissioni si riferiscono ad anni differenti, e nel caso di Milano riferiti al 2020, anno anomalo in quanto fortemente caratterizzato dai lunghi periodi di *lockdown* a causa della pandemia. La modalità di contabilità delle emissioni è esplicitamente citata come uno dei temi da affrontare e da omogeneizzare all'interno della *Mission* sia per quanto riguarda i singoli contributi che per gli scambi di energia con la rete. Questi dati, tuttavia, letti qualitativamente offrono spunti interessanti sulle differenze tipologiche delle nove città.

^B La quantità di emissioni dichiarate per la mobilità dalle amministrazioni può apparire in alcuni casi sottostimata in quanto, per le metodologie richieste dalla *Mission di Horizon Europe*, vengono usate come basi di calcolo per le emissioni dei trasporti soltanto le quantità di combustibile vendute nel territorio cittadino.

Risulta evidente, ad ogni modo, che le fonti emissive riguardano principalmente il settore civile (abitazioni, uffici e commercio) e il settore dei trasporti. Si tratta pertanto di ambiti nei quali le città hanno maggiori margini di intervento, essendo altri settori (ad es. le emissioni di industrie energivore) più legati ad ambiti regolatori differenti, quali l'appartenenza al mercato europeo dei diritti di emissione (*Emission Trading Scheme, ETS*¹).

I dati presentati dalle nove città nelle schede di candidatura non sono però sufficienti per fornirne una caratterizzazione. I dati relativi all'ambiente urbano di ISTAT², ENEA³, ISPRA⁴ e di altre fonti aprono diverse finestre interpretative, pur confermando quanto già emerso qualitativamente, ovvero la prevalenza di emissioni dovute ai trasporti e agli edifici. La trasformazione dei dati della Tabella 1 in valori pro-capite è riportata nella Tabella 2^c.

Città	Popolaz. Residente	Emissioni (t CO2 eq)						Emissioni totali
		Energia stazionaria (dirette e indirette)	Trasporti (dirette e indirette)	Rifiuti e depuraz. (dirette e fuori confine)	Processi industriali (dirette)	AFOLU (dirette)	Altro	
Torino (2019)	857.910	1.710.268	682.683		673.461			3.066.412
Milano (2020)	1.392.502	3.706.126	679.265	7.790				4.393.181
Bergamo (2019)	120.783	372.370	110.506		78.922	1.083		562.881
Padova (2017*)	210.440	589840	335513	57.617	327.044			1.310.014
Parma (2017)	195.687	744.464	245.632					990.096
Bologna (2018)	393.248	1.310.185	320.871	57.742	147.471	13.723	8.361	1.849.992
Firenze (2019)	366.927	993.410	465.118	12.505	85.793			1.556.826
Prato (2019)	194.223	386.483	267.879		223.058	5.439		882.859
Roma (2015)	2.864.731	5.619.299	3.663.533	195.546		7.249	84.849	9.570.476

Tabella 1: Dati emissivi (in t CO2eq) dichiarati dalle nove città all'interno dei documenti inviati alla Commissione europea per la candidatura. I dati si riferiscono ad anni base diversi, in parentesi di fianco alle città ^{D,5}. AFOLU= Agriculture, Forestry and Other Land Use.

^C Se consideriamo che il dato ISPRA delle emissioni pro-capite italiane nel 2019 è di circa 5,7 tCO_{2eq}, si comprende che il dato più basso puramente "cittadino" delle emissioni non considera quelle che si generano negli hinterland industriali, gran parte delle emissioni dei trasporti – in particolare quelli stradali pesanti, aerei e marittimi – che avvengono al di fuori dei perimetri urbani, e dell'agricoltura.

^D I dati di popolazione residente sono stati corretti rispetto agli atti di candidatura, riportando i residenti al 31 dicembre dell'anno a cui si riferiscono i conteggi. I dati di Padova, che nell'atto di candidatura si riferivano al 2005, sono stati sostituiti con la rilevazione del 2017, più congrua rispetto ai dati delle altre città.

Città italiane "Carbon-neutral @2030"	Emissioni stazionarie pro-capite (t CO _{2eq})	Emissioni trasporti (% sul totale)	Emissioni trasporti pro-capite (t CO _{2eq})	Emissioni totali pro-capite (t CO _{2eq})
Torino	1,99	22,2	0,80	3,57
Milano	2,67	15,4	0,48	3,15
Bergamo	3,08	19,6	0,91	4,66
Padova	2,80	25,6	1,59	6,22
Parma	3,81	24,8	1,25	5,06
Bologna	3,33	17,3	0,82	4,70
Firenze	2,71	20,6	1,27	4,24
Prato	1,99	30,3	1,38	4,54
Roma	1,96	38,2	1,28	3,34
Media 9 città	3,17	23,5	1,15	3,78

Tabella 2: dati di emissione stazionari, di trasporto e totali dichiarati dalle 9 città italiane carbon-neutral 2030 nei documenti di candidatura: trasformazione in dati pro-capite.

Le emissioni degli edifici

Per gli edifici è utile analizzare i dati delle prestazioni energetiche derivanti dal Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE, gestito da ENEA⁶). I dati SIAPE mostrano una prevalenza di edifici – tra quelli che sono stati sottoposti a valutazioni energetiche, ovvero un campione di meno di 3 milioni di edifici o porzioni di edifici sui 14,5 milioni circa di edifici censiti dall'ISTAT – nelle categorie meno performanti. Un'analisi condotta su questi dati da Talluri^E (2022⁷), pur non potendo disporre di dati cittadini ma provinciali, fornisce per le nove città selezionate dalla Commissione europea un quadro qualitativo utile, anche se piuttosto negativo, con circa 1/3 degli immobili del campione nella classe energetica più bassa (Tabella 3) e per quasi tutte le città non molto diverso dal dato medio nazionale.

Questi dati possono anche essere letti in prospettiva, considerando le opportunità che si aprono, in quanto – e in particolare a causa degli attuali costi molto elevati di gas ed energia elettrica – è oggi possibile, con investimenti che si ripagano molto velocemente, ottenere miglioramenti significativi di prestazione energetica che portano all'immediata riduzione dei consumi e di conseguenza delle bollette di famiglie e imprese. L'efficientamento del parco edilizio è anche un prerequisito per permettere quei cambiamenti tecnologici (in particolare il passaggio da gas a pompe di calore elettriche) che, in una prospettiva di veloce decarbonizzazione della

^E Si ringrazia Marco Talluri per la gentile concessione di alcuni grafici elaborati nella sua interessante serie di articoli sulle 9 Città #NetZero2030 pubblicate sul suo sito ambientenonsolo.it

produzione di elettricità e della possibilità almeno parziale di autoproduzione, possono condurre a emissioni zero nel settore degli edifici e a minori costi operativi.

	A4	A3	A2	A1	B	C	D	E	F	G
ITALIA	1,8%	1,5%	1,7%	2,1%	2,8%	5,3%	11,3%	16,	23,3%	33,6%
Torino	1,6%	1,5%	1,7%	2,0%	2,7%	5,5%	12,8%	20,5	24,6%	27,1%
Milano	1,4%	1,8%	2,1%	2,2%	2,7%	5,8%	13,6%	17,	24,0%	28,6%
Bergamo	3,0%	2,5%	2,3%	2,7%	3,6%	6,2%	12,4%	15,	19,3	32,3%
Padova	1,8%	1,4%	1,2%	2,4%	3,6%	7,4%	12,6%	16,	20,5	32,7%
Parma	9,3%	2,7%	4,6%	2,1%	2,0%	4,2%	9,6%	12,	21,2	31,9%
Bologna	1,5%	1,6%	3,0%	1,2%	1,7%	5,0%	11,6%	20,0	26,6%	27,9%
Roma	1,7%	1,2%	1,2%	1,7%	1,8%	3,5%	7,7%	15,	27,1%	38,8%

Tabella 3: Classe energetica degli immobili con Attestazione di Prestazione Energetica (APE). I dati di Prato e Firenze e di tutta la Toscana non sono presenti nel SIAPE-ENEA. Dati provinciali. (Talluri, 2022)

2020							
PROVINCE / CITTÀ METROPOLITANE	Numero di impianti (n)	di cui nel capoluogo		Potenza installata (kW)	di cui nel capoluogo		
		(n)	(%)		(kW)	(%)	
Torino	23.694	1.200	5,1	458.830	24.668	5,4	
Milano	20.190	1.760	8,7	366.633	30.224	8,2	
Bergamo	21.080	779	3,7	344.523	12.141	3,5	
Padova	27.734	3.724	13,4	374.286	57.365	15,3	
Parma	7.745	2.185	28,2	205.490	61.807	30,1	
Bologna	17.832	1.505	8,4	364.740	35.520	9,7	
Firenze	7.780	509	6,5	121.113	7.083	5,8	
Prato	2.336	1.275	54,6	82.009	47.775	58,3	
Roma	37.349	13.994	37,5	483.112	168.872	35,0	

Fonte: ISTAT² Elaborazione su dati del Gestore dei servizi energetici (Gse)

(a) Include tutti gli impianti fotovoltaici, di privati e di enti pubblici, ubicati nel territorio provinciale.

(b) Include tutti gli impianti fotovoltaici, di privati e di enti pubblici, ubicati nel territorio comunale

Tabella 4: Numero di impianti fotovoltaici e potenza installata nei nove Comuni e nelle rispettive Province/Città metropolitane

Nel considerare le possibilità di accelerare la riduzione delle emissioni dai consumi degli edifici attraverso il ricorso ad energie rinnovabili, emerge un dato significativo, ovvero che nelle nove città la presenza di impianti di autoproduzione energetica

rinnovabile è quasi sempre molto poco presente a livello urbano (Tabella 4). Esistono infatti vincoli comprensibili, posti dalle amministrazioni comunali e dalle soprintendenze alle belle arti, alla posa di pannelli fotovoltaici nei centri storici, ove sono spesso in vigore regole che ne limitano molto l'applicazione^F.

Non solo emissioni di gas serra ma anche di inquinanti atmosferici

Le nove città sono costituite da cinque capoluoghi di regione e città metropolitane (Torino, Milano, Bologna, Firenze e Roma) e quattro città capoluogo di provincia (Bergamo, Padova, Parma e Prato).

- Valori dell'indicatore sintetico di pressione dell'inquinamento atmosferico nei comuni capoluogo/provincia/città metropolitana. Anni 2017-2018 (valori medi, media Italia = 1)

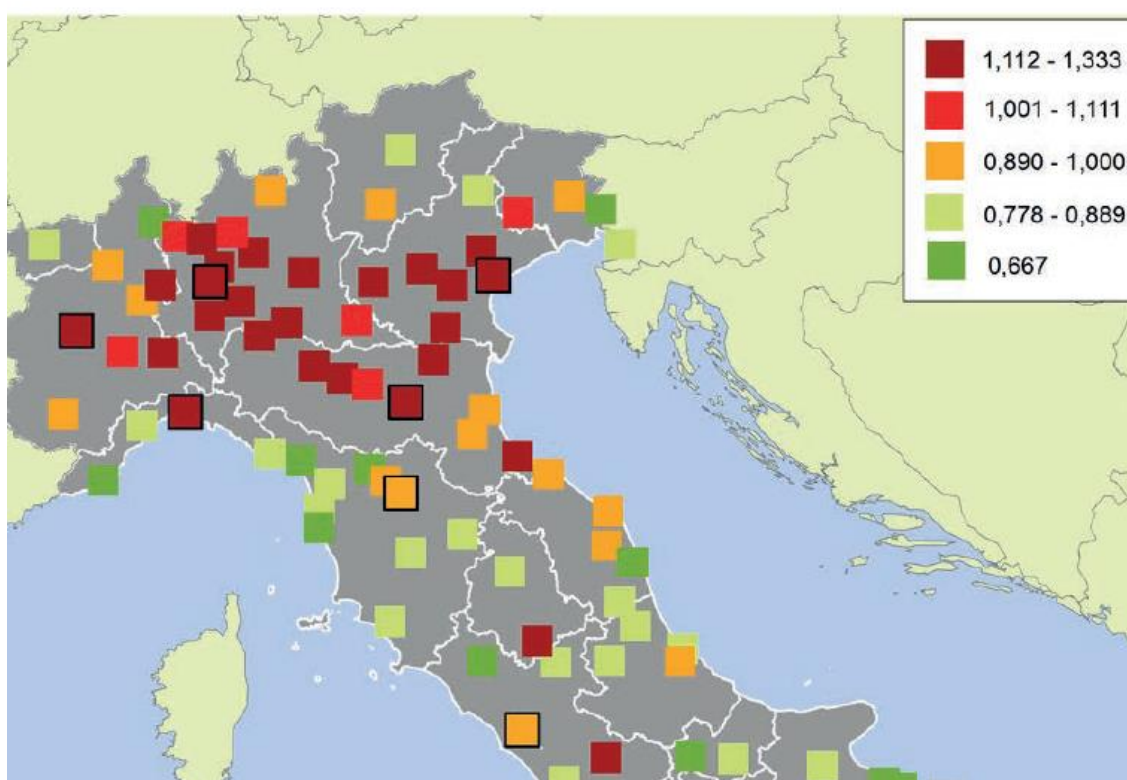


Figura 1: Qualità dell'aria nelle città. Rapporto ISTAT: Principali fattori di pressione ambientale nelle città italiane (2018)⁸

Le sei città del nord sono caratterizzate da valori elevati di inquinamento atmosferico, mentre le tre città del centro si caratterizzano per valori di inquinamento intermedi (Figura 1).

Sebbene la *Mission Carbon-Neutral and Smart Cities* di Horizon Europe riguardi prevalentemente gli aspetti dell'abbattimento delle emissioni climalteranti, negli

^F Le regole restrittive alla posa di pannelli fotovoltaici sui tetti sono comprensibili per i centri storici delle città d'arte, ma andrebbero discusse quando queste vengono estese ad ampie zone di prossimità visuale, anche in ragione della presenza di altre impronte tecnologiche sul territorio similmente, se non maggiormente, impattanti (es. antenne, ripetitori, componenti esterne di impianti di aria condizionata).

incontri preparatori è risultata chiara la richiesta dei cittadini e delle associazioni di avere un approccio sistemico ai temi ambientali e alla qualità dell'aria nelle città selezionate. Questi dati risultano quindi significativi nell'ottica di un miglioramento della qualità della vita nelle città, oltre che indirettamente legati alle emissioni antropiche di CO₂ e alle emissioni dirette di *short-lived climate pollutants*, e in particolare di metano, *black carbon* (nel particolato) e ozono troposferico.

Altre fonti di dati sull'inquinamento atmosferico forniscono un quadro diverso rispetto a quello presentato dalle nove città nelle schede di candidatura, in quanto la metodologia richiesta dalla Commissione europea permette di non considerare le emissioni generate dal passaggio di veicoli sulle infrastrutture di traffico nazionali che insistono sul territorio dei Comuni. L'analisi condotta da Kyoto Club e CNR nel 5° Rapporto "Mobilitaria 2022"⁹ relativamente alle città metropolitane, che considera anche queste fonti di emissioni e inquinamento, traccia un quadro del contributo dei trasporti alle emissioni di CO₂ assai maggiore, con Firenze, Milano e Bologna al di sopra del 50% di emissioni dovute al traffico veicolare passeggeri e merci.

COMUNI	Biossido di azoto (NO ₂)			
	Valore limite per la protezione della salute umana			
	40 µg/m ³			
	Media annuale			
	2019		2020	
Torino	53	T	46	T
Milano	57	T	48	T
Bergamo	39	T	31	T
Padova	38	T	28	T
Parma	34	T	28	T
Bologna	46	T	38	T
Firenze	56	T	44	T
Prato	29	F	25	T
Roma	58	T	47	T
Italia (b)	14		9	

Fonte: Istat, Dati ambientali nelle città ²

Tabella 5: Numero massimo di superamenti del limite per la protezione della salute umana previsto per il valore più elevato della concentrazione media annua di NO₂ rilevato tra tutte le centraline fisse per il monitoraggio della qualità dell'aria per tipo di centralina (T - traffico, I - industriale, F - fondo o A - non classificata) nelle 9 città. Anni 2019-2020.

Per quanto riguarda gli inquinanti atmosferici che vengono emessi assieme alle emissioni climalteranti, restringendo il campo per sinteticità ai valori di NO_x caratteristici dell'inquinamento atmosferico da motori a combustione interna e da caldaie per il riscaldamento, si evidenzia come – tra le nove città – tutte le cinque città metropolitane superino facilmente la media annuale di 40 µg/m³ (Tabella 5), in particolare nelle stazioni di rilevamento dedicate al traffico.

Emissioni e mobilità

Le emissioni dovute al traffico urbano scontano la storica prevalenza dell'automobile privata su tutti gli altri mezzi di trasporto, che ha caratterizzato l'Italia a partire dagli anni di forte crescita economica degli anni '60 e che ha portato l'Italia ad avere il più alto numero di auto in Europa per 1000 abitanti, secondo solo al Lussemburgo. Ma mentre il Lussemburgo è anche il Paese europeo, insieme all'Irlanda, con il parco-auto più giovane – probabilmente per la registrazione di grandi flotte aziendali o di leasing –, l'Italia presentava a fine 2021 un'età media delle autovetture private in salita di 12,2 anni (UNRAE, 2022¹⁰), con il 59% delle auto immatricolate da più di 10 anni (ACI, annuario statistico 2022¹¹).

La densità di auto/abitante non è uguale in tutte le città, come evidenzia la Tabella 6, ed è chiaramente inferiore a Milano dove l'utilizzo dei mezzi pubblici – anche per la rete crescente di metropolitane – è più alto e dove esistono restrizioni per l'accesso al centro (Area C) e per la circolazione di mezzi inquinanti nella quasi totalità dell'area urbana (Area B). Zone a traffico limitato (ZTL) sono presenti con regole ed estensioni diverse in tutte le altre otto città, ma limitatamente ad aree del centro storico e nel caso di Torino per una piccola parte della giornata.

La Tabella 6 mette anche in evidenza il forte numero di motocicli, strumento molto utilizzato per evitare la congestione in particolare nelle città storiche, con strade strette, difficoltà di parcheggio e colli di bottiglia di traffico, come Firenze. La somma di auto e motocicli porta l'Italia decisamente al primo posto in Europa come densità di mezzi di trasporto privato.

COMUNI	AUTOVETTURE					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torino	600	626	664	640	618	600
Milano	504	504	504	498	495	497
Bergamo	601	610	617	622	632	625
Padova	593	602	613	614	618	618
Parma	602	606	614	618	626	631
Bologna	522	528	539	540	541	541
Firenze	518	525	530	539	548	544
Prato	613	617	624	631	635	619
Roma	607	609	611	610	618	621
Italia (*)	599	606	615	619	625	627

COMUNI	MOTOCICLI					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Torino	82	83	84	86	88	88
Milano	120	120	121	122	126	128
Bergamo	146	148	149	150	153	155
Padova	130	131	131	131	132	132
Parma	121	120	120	120	122	125
Bologna	142	142	144	145	147	147
Firenze	191	194	197	202	206	205
Prato	94	94	93	94	94	92
Roma	142	141	140	138	138	138
Italia (*)	133	134	135	136	138	140

Fonte: Elaborazioni su dati Aci, Pubblico registro automobilistico

(*) Dati riferiti all'insieme dei comuni capoluogo di provincia/città metropolitana.

È escluso il comune di Cesena, che partecipa all'indagine Dati ambientali nelle città dal 2020 su base volontaria.


Tabella 6: Numero di Autoveicoli ad uso privato e di motocicli per 1000 abitanti nelle nove città.

L'elevatissimo numero di mezzi privati nel traffico delle nove città – la cui struttura urbanistica si è sviluppata in buona parte in tempi precedenti all'avvento delle automobili – è causa di cronici problemi di congestione, che aggravano le problematiche dovute alle emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici, causano notevoli danni economici per la perdita di ore di lavoro nel traffico urbano e rendono poco piacevole l'ambiente cittadino. Talluri (2022)¹² ha analizzato i dati del TomTom Traffic Index^G relativi a otto delle nove città (Bergamo non è compresa in questo indice), mettendo in evidenza numeri molto elevati di ore perse nel traffico (Tabella 7), dovuti a percentuali di allungamento dei tempi medi di percorrenza che superano il 30% per Roma, sono intorno al 30% a Milano e via via inferiori per le città di dimensione intermedia, con il dato più alto di Prato tra le città più piccole.

Riprendendo l'analisi dei dati del parco automobilistico nelle nove città, i dati 2020 delle auto sono specificati per categorie di alimentazione nella Tabella . Nella categoria "basse emissioni" i dati ACI comprendono anche i veicoli a metano, GPL e bi-fuel, gruppo che presenta un profilo emissivo di inquinanti atmosferici poco inferiore alle motorizzazioni tradizionali ed emissioni climalteranti molto simili, se non superiori, secondo la letteratura scientifica¹³. Non sono ancora disponibili dati cittadini più recenti e più precisi e articolati per distinguere le auto ibride da quelle ibride-plug-in. Le auto *full-electric*, nonostante un trend di crescita elevatissimo in Europa, in Italia – sul territorio nazionale – hanno mostrato addirittura un calo nel 2022

^G Il TomTom Traffic Index è un indice derivato da dati GPS per oltre 400 città di tutto il mondo, tra le quali 25 italiane. L'indice fornisce una valutazione percentuale dell'aggravio di tempo dovuto alla congestione del traffico, in relazione a tempi di percorrenza senza traffico, e permette di derivare informazioni sul tempo perso nel traffico. L'accesso è libero su <https://www.tomtom.com/traffic-index/>.

rispetto al 2021, anche probabilmente a causa di una politica di incentivazione che non ha soddisfatto compiutamente le aspettative del mercato.



	ore perse nel traffico 2019	ore perse nel traffico 2020	ore perse nel traffico 2021	media triennio ▼
Roma	171	108	131	137
Milano	148	96	123	122
Bologna	124	74	102	100
Torino	123	80	92	98
Prato	118	78	96	97
Firenze	112	73	100	95
Padova	92	56	71	73
Parma	75	53	60	63

Tabella 7: Ore perse nel traffico nell'ultimo triennio derivate dal TomTom Traffic Index. L'anno 2020, caratterizzato da lunghi periodi di lockdown a causa del Covid-19, mostra un notevole calo delle ore perse nel traffico, ricresciute in buona parte nel 2021 (da Talluri, 2022).

COMUNI	2020 (% sul n° auto/1000 abitanti)				2020 ("basse emissioni" in n° auto/1000 abitanti)			
	Benzina	Gasolio	Basse emissioni (a)	Totale (b)	Ibride	Elettriche	Gas e bi-fuel	Totale
Torino	53,2	32,0	14,8	100	23,6	1,7	122,4	147,7
Milano	59,6	30,3	10,0	100	37,6	3,2	59,6	100,4
Bergamo	53,6	34,1	12,3	100	34,5	3,1	85,2	122,8
Padova	47,3	37,1	15,6	100	30,9	2,1	122,8	155,8
Parma	41,1	37,0	21,9	100	25,3	2,0	191,7	219,0
Bologna	45,0	32,9	22,1	100	47,2	2,4	171,2	220,8
Firenze	52,8	36,4	10,8	100	22,0	2,4	83,7	108,1
Prato	50,0	39,6	10,4	100	17,8	1,2	85,1	104,0
Roma	52,9	34,8	12,2	100	27,3	2,0	93,2	122,5
Italia (*)	49,9	38,6	11,5	100	19,6	1,7	94,2	115,4

Fonte: Elaborazioni su dati Aci, PRA

(a) Autovetture alimentate a gas (Gpl o metano), alimentate alternativamente a benzina e Gpl o benzina e metano (Bi-fuel) o a trazione elettrica (integrale o ibrida).

(b) Inclusive le autovetture con tipo di alimentazione non definito.

Tabella 8: ripartizione percentuale per tipo di alimentazione degli autoveicoli immatricolati nel 2020 nelle nove città. La categoria "basse emissioni" è ulteriormente specificata nelle colonne di destra come numeri/1000 abitanti.

Peraltro, la crescita della immatricolazione di auto elettriche è – almeno in alcuni dei nove Comuni – limitata anche dalla lenta installazione di colonnine di ricarica, come riportato dalla Tabella 9. Questo ritardo, oltre a rendere molto ripida la curva verso le emissioni zero al 2030, rischia poi di influire negativamente sui flussi turistici dai Paesi europei più prossimi che presentano tassi di penetrazione di mobilità elettrica molto superiori all'Italia.

COMUNI	2016		2017		2018		2019		2020	
	N°	Densità (num. per 10 km ²)	N°	Densità (num. per 10 km ²)	N°	Densità (num. per 10 km ²)	N°	Densità (num. per 10 km ²)	N°	Densità (num. per 10 km ²)
Torino	10	0,77	64	4,92	278	21,37	441	33,91	609	46,82
Milano (c)	381	20,97	381	20,97	382	21,03	382	21,03	564	31,04
Bergamo (c)	1	0,25	1	0,25	2	0,50	34	8,47	34	8,47
Padova	8	0,86	10	1,07	10	1,07	10	1,07	10	1,07
Parma	10	0,38	11	0,42	11	0,42	11	0,42	11	0,42
Bologna	20	1,42	20	1,42	23	1,63	61	4,33	83	5,89
Firenze	173	16,91	173	16,91	173	16,91	173	16,91	173	16,91
Prato	11	1,13	11	1,13	11	1,13	11	1,13	23	2,36
Roma	117	0,91	130	1,01	161	1,25	206	1,60	215	1,67

Fonte: Istat, Dati ambientali nelle città

(a) Infrastrutture (colonnine) di ricarica per veicoli elettrici presenti e funzionanti sul territorio comunale con libero accesso al pubblico (a pagamento, a titolo gratuito e del servizio di car sharing).

(b) Il Comune dispone di stazioni di ricarica per biciclette elettriche.

(c) Dato 2020 relativo al numero di colonnine di ricarica utilizzate dal car sharing stimato.

(d) Dati 2020 stimati.

(e) Dati riferiti all'insieme dei comuni capoluogo di provincia/città metropolitana. È escluso il comune di Cesena, che partecipa all'indagine Dati ambientali nelle città dal 2020 su base volontaria.

Tabella 9: Crescita del numero di colonnine di ricarica elettrica pubbliche nei nove Comuni e densità in n°/10 km²

Passando alla mobilità attiva pedonale e ciclistica, le nove città presentano condizioni assai diverse in relazione all'ampiezza di aree pedonali, alla disponibilità di piste ciclabili nonché della disponibilità di verde urbano (Tabelle 8 e 9). Va anche detto che questi indicatori sono importanti ma non sufficienti per valutare il potenziale di mobilità attiva che dipende fortemente dalla attrattività sociale ed estetica del tessuto urbano, dal senso di sicurezza, dalla presenza di portici (tra le nove città Bologna vanta la maggior presenza di portici, ben 62km – di cui 42km nel centro storico -, seguita da Torino con 18km – di cui 12km continui -, e Padova con 12km) e dalle caratteristiche meteorologiche (in particolare la piovosità) e fisiche (estensione, dislivelli, etc.) del territorio.

Completando il quadro su altri mezzi di mobilità sostenibile quali *car-sharing*, *bike-sharing* e micro-elettromobilità, la ripresa post-Covid è stata caratterizzata da una forte crescita, con l'uso del *car-sharing* abbastanza stazionario. La crescita, in particolare dell'offerta di monopattini elettrici, è molto più rapida della condivisione dei dati e non si ritiene utile presentare in questa sede numeri che potrebbero essere già obsoleti.

Città	N° abitanti 2019	Superficie centro abitato km ²	Zone pedonali 1.000m ²	Aree verdi 1.000m ²	Piste ciclabili (km)
Torino	860.793	130,0	507,2	28.183	195,0
Milano	1.395.980	182,0	768,0	25.118	293,0
Bergamo	120.569	40,2	48,2	15.708	55,5
Padova	209.995	92,9	179,8	8.137	178,0
Parma	198.606	50,0	158,5	25.202	139,5
Bologna	393.248	141,0	115,7	45.996	154,9
Firenze	369.885	102,0	408,1	20.043	93,6
Prato	193.723	97,5	11,8	35.837	76,5
Roma	2.820.219	1.287,0	393,3	458.052	284,9

Tabella 10: Superfici di zone pedonali e aree verdi, e estensione di piste ciclabili (dati ISTAT 2019 per popolazione e zone pedonali, e 2020 per aree verdi e piste ciclabili).

Città	Zone pedonali (m ² /ab)	Zone pedonali (% della superficie)	Verde (m ² /ab)	Verde (% della superficie)	Piste ciclabili (km/1.000 ab)	Piste ciclabili (km/km ²)
Torino	0,59	3,9	32,7	21,7	0,23	1,50
Milano	0,55	4,2	18,0	13,8	0,21	1,61
Bergamo	0,40	1,2	130,3	39,1	0,46	1,38
Padova	0,86	1,9	38,7	8,8	0,85	1,92
Parma	0,80	3,2	126,9	50,4	0,70	2,79
Bologna	0,29	0,8	117,0	32,6	0,39	1,10
Firenze	1,10	4,0	54,2	19,7	0,25	0,92
Prato	0,06	0,1	185,0	36,8	0,39	0,79
Roma	0,14	0,3	162,4	35,6	0,10	0,22

Tabella 11: Strade pedonali, verde pubblico, e piste ciclabili per abitante e per km² di superficie dell'area abitata (dati ISTAT)

Questa crescita, tuttavia, è stata compensata negativamente dal crollo dell'uso trasporto pubblico locale avvenuto durante la pandemia che ad oggi non risulta ancora recuperato. Non si fermano però gli investimenti per l'ammodernamento delle flotte di autobus e si riscontra una costante crescita dell'elettrificazione (metropolitane, tram, filobus e autobus elettrici). Le nove città *carbon-neutral@2030*

presentano, come si nota dalle Tabelle 10 e 11 che seguono, situazioni infrastrutturali e parchi-mezzi assai diversi per la loro maggiore o minore lontananza dall'obiettivo delle zero emissioni, con Milano in posizione di *leader* per estensione dell'elettrificazione, avendo anche acquisito un'esperienza notevole nell'elettrificazione dei bus con ricariche a pantografo ai capolinea.

	tram	metro	filobus	▼ totale
Milano (a)	180,3	72,4	38,8	291,5
Roma	37,0	59,3	26,9	123,2
Torino	73,0	13,2		86,2
Bologna (c)			77,0	77,0
Parma (b)			19,0	19,0
Firenze (d)	15,0			15,0
Padova	9,8			9,8
Bergamo	3,2			3,2
Prato				0,0
Italia (*)	380,1	191,5	296,6	868,2

(a) Dati Tram e dati Filobus stimati

(b) Dati Filobus 2015-2017 stimati

(c) Dati Filobus 2017-2019 stimati

(d) Dati Tram 2015-2019 stimati

(*) Valori riferiti all'insieme dei comuni capoluogo

Tabella 12: Estensione in km delle reti di elettrificazione (metropolitane, tram e filobus) nelle 9 città. Soltanto Prato non detiene alcuna linea. Elaborazione di (Talluri, 2022¹⁴) su dati ISTAT.

	euro 4 o meno	euro 5	euro 6	elettrici o ibridi elettrici (a) ▼	metano o gpl (b)
Milano	363	450	509	69	-
Roma (b)	633	801	547	60	369
Firenze	137	75	248	58	24
Bologna	119	14	257	35	228
Torino	211	231	343	26	220
Bergamo	91	29	78	12	57
Padova	29	130	60	5	147
Parma (a)	25	69	61	-	70
Prato	35	27	31	-	-

a) autobus elettrici (ibridi o a trazione elettrica integrale, inclusi quelli alimentati a idrogeno con tecnologia a celle di combustibile)

b) gas (con motore bi-fuel benzina/metano o benzina/Gpl)

Tabella 13: Flotte di autobus per trasporto pubblico locale nelle nove città. Elaborazione di (Talluri, 2022¹⁴) su dati 2020 ISTAT.

La strada verso la neutralità climatica

Per dirigersi verso la neutralità climatica, tutte le città devono disporre di adeguati strumenti di pianificazione. Le nove città hanno presentato nella propria scheda di candidatura i programmi già in essere, citando tutte i Piani d’Azione per l’Energia Sostenibile (PAES) o i Piani d’Azione per l’Energia e il Clima (PAESC)^H e i Piani Urbani della Mobilità Sostenibile (PUMS)^I. La maggior parte delle nove città menzionano inoltre lo strumento dei Piani Regolatori Generali (che a seconda delle Regioni può assumere diciture differenti), mentre in altri casi vengono citati altri Piani, quali quelli per il verde urbano - comprese le foreste urbane -, la resilienza ai cambiamenti climatici, i Piani ciclistici e i Piani dei rifiuti. Se l’abbondante presenza di strumenti pianificatori è senza dubbio un buon punto di partenza, in particolare in quanto comporta l’esecuzione di studi complessi e l’acquisizione di molti dati sulla città, nel momento in cui una città accetta di moltiplicare i suoi sforzi per raggiungere in meno di una decade gli obiettivi che un tempo erano fissati trent’anni in avanti, è evidente che tutti gli strumenti pianificatori devono essere aggiornati ai nuovi obiettivi. Affinché questo processo di discussione non faccia spostare ulteriormente in là l’attuazione, è necessario che le nove città si diano per questo degli strumenti di co-decisione più rapidi e flessibili – come ad esempio le assemblee cittadine, proposte dalla città di Bologna – in ogni caso capaci di coinvolgere la cittadinanza, le forze produttive e le istituzioni, con il primo obiettivo di costituire una vera alleanza per il clima e il cambiamento.

Nel presentare la situazione delle nove città che si sono proposte come *front-runner* nel percorso di decarbonizzazione, è stata evidenziata la notevole distanza che esiste tra lo stato attuale delle principali fonti generatrici di emissioni e il target di zero-netto (pur con una tolleranza del 20% di crediti di emissioni generati fuori dal territorio) che la *Mission “Net-zero@2030”* prevede. Fatta eccezione per Milano, le altre otto città hanno inoltre dichiarato di volersi impegnare per raggiungere l’obiettivo per il loro intero territorio, pur avendo avuto la possibilità di identificarne anche soltanto una porzione. Analizzando i dati storici di consumi energetici delle nove città pre-Covid², i tassi recenti di riduzione sono assai lontani dalla possibilità di raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica al 2030, che invece necessitano una ambizione e un tasso di decarbonizzazione quasi di un ordine di grandezza superiore. L’obiettivo sarà certamente aiutato dalla decarbonizzazione complessiva del sistema energetico nazionale, con progressive minori emissioni del settore elettrico, elettrificazione dei consumi e della mobilità, sviluppo di vettori energetici a zero emissioni, ma richiederà un approccio sistemico e una ambizione decisamente più elevata nelle nove città. I dati molto bassi di generazione rinnovabile nelle città in esame mette in luce la necessità di compensare le carenze strutturali dei centri storici con un maggiore contributo delle periferie, delle zone industriali dei circondari e dei comuni limitrofi. Il tema della creazione di Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) e delle reti di teleriscaldamento/teleraffrescamento che utilizzano cascami energetici di origine industriale saranno ampiamente trattati in altri contributi di questo Rapporto.

^H I PAES/PAESC sono strumenti volontari di pianificazione promossi dal Patto dei Sindaci, un’iniziativa europea ormai allargata su scala globale <https://www.pattodeisindaci.eu/it/>

^I Previsti dal Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 4 agosto 2017 recante “Individuazione delle linee guida per i piani urbani di mobilità sostenibile, ai sensi dell’articolo 3, comma 7, del decreto legislativo 16 dicembre 2016, n. 257”, poi aggiornate con Decreto n° 396 del 28 agosto 2019.

Nel settore dei trasporti, inoltre, in cui – in combinazione con un tasso di sostituzione perfino in diminuzione di un parco auto mediamente anziano – si registra un aumento dei veicoli per abitante in sei città su nove, con le altre tre che presentano valori sostanzialmente stabili, la sfida diventa molto complessa; solo Milano – anche per crescenti politiche attive per ridurre la congestione e favorire il trasporto pubblico – nel 2020 è scesa sotto la soglia di 500 auto per 1.000 abitanti.

La difficoltà di una sfida è però anche parte della sua bellezza e del coraggio necessario ad affrontarla. Inoltre, le nove città *front-runner* hanno un compito storico molto importante, che è non soltanto quello di cooperare tra di loro e con le altre città europee per apprendere le migliori pratiche e far tesoro sia delle esperienze positive, sia degli errori, ma anche quello di fare da apripista per tutte le altre città italiane ed europee che presentano problematiche simili.

¹ EU Emission Trading Scheme https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_it

² ISTAT (2022) Ambiente urbano – tavole di dati <https://www.istat.it/it/archivio/264816>

³ ENEA – Supporto alla Pubblica Amministrazione <https://www.enea.it/it/servizi-a-imprese-e-pa/supporto-alla-pa>

⁴ ISPRA 2021 – dati di emissioni di gas serra del settore commerciale, istituzionale e residenziale e dei trasporti stradali nelle città metropolitane, <https://annuario.isprambiente.it/pon/basic/12>

⁵ ISTAT – dati della popolazione: <https://www.istat.it> e <https://www.tuttitalia.it/italia/>

⁶ ENEA SIAPE - Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica, <https://siape.enea.it>

⁷ Talluri M. (2022) Città #NetZero2030: l'efficientamento energetico degli edifici, <https://ambienononsole.com/citta-netzero2030-lefficientamento-energetico-degli-edifici/>

⁸ ISTAT (2020) Principali fattori di pressione sull'ambiente nelle città italiane, <https://www.istat.it/it/archivio/252928>

⁹ Donati A., Petracchini F., Gasparini C., Tomassetti L., Scarpinella M.S., Montiroli C., Nicoletti F., Leonardi C. (2022) 5°Rapporto Mobilitaria 2022 – Mobilità urbana, emissioni di gas serra e qualità dell'aria nelle 14 città metropolitane, https://www.kyotoclub.org/wp-content/uploads/Libro_Mobilitaria2022_compressed.pdf

¹⁰ UNRAE (2022) L'auto 2021 – Sintesi Statistica UNRAE <https://unrae.it/pubblicazioni/sintesi-statistica/5861/lauto-2021-sintesi-statistica-unrae>

¹¹ ACI (2022) Annuario statistico 2021 <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/annuario-statistico/annuario-statistico-2021.html>

¹² Talluri M. (2022) Città #NetZero2030: la congestione del traffico, <https://ambienononsole.com/citta-netzero2030-la-congestione-del-traffico/>

¹³ Clairotte, M., Suarez-Bertoa, R., Zardini, A.A. et al. Exhaust emission factors of greenhouse gases (GHGs) from European road vehicles. Environ Sci Eur 32, 125 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00407-5>

¹⁴ Talluri M. (2022) Città #NetZero2030: la situazione della mobilità, <https://ambienononsole.com/citta-netzero2030-la-situazione-della-mobilita/>

CAPITOLO 2

Decarbonizzare la mobilità urbana e le infrastrutture di trasporto

Prof. Matteo Colleoni

Dipartimento di Sociologia e Ricerca Sociale - Università degli Studi di Milano Bicocca e Struttura Tecnica di Missione, MIMS

Prof.ssa Angela Stefania Bergantino

Dipartimento di Economia, Management e Diritto dell'Impresa - Università degli Studi di Bari Aldo Moro

La decarbonizzazione della mobilità in ambito urbano e la pianificazione urbana integrata dei trasporti

Per quanto concerne la mobilità, l'obiettivo della legge europea sul clima di raggiungere zero emissioni nette al 2050 (in particolare nelle città che sono i maggiori centri di emissioni) e ancor di più quello della Mission "100 Climate-Neutral Cities@2030" – che anticipa il target della decarbonizzazione al 2030 – si confrontano con ostacoli che ne limitano ancora le possibilità di realizzazione e che rendono sempre più urgente l'attivazione di politiche mirate alla mobilità urbana sostenibile. Nelle aree metropolitane e nelle grandi aree urbane italiane vive infatti circa la **metà della popolazione nazionale** (il 70% se si aggiungono coloro che abitano nelle aree urbane non metropolitane), una quota consistente che genera un'elevata densità di flussi di spostamento, in particolar modo con le autovetture private. Ne mostrano evidenze empiriche l'elevata motorizzazione e la presenza di riparti modali ancora fortemente auto-dipendenti.

Prestando attenzione al solo **parco automobilistico** (che, con un valore pari a 40 milioni di automobili rappresenta il 71% circa di un parco veicolare complessivo pari, nel 2021, a 56 milioni¹), nonostante la crescente attenzione al tema della mobilità sostenibile, esso non solo non è migliorato ma è peggiorato. Il tasso di immatricolazione delle autovetture^A, uguale nel 2015 a 599, nel 2020 risulta pari a 627, con i valori peggiori nel Sud (658, rispetto a 639 del Centro e 590 del Nord), nei Comuni non capoluogo di provincia (in particolare esterni alle aree metropolitane dove il valore è pari a 588) e, tra le città metropolitane, a Catania (792), Cagliari (686) e Reggio Calabria (679) e i migliori in quelle di Venezia (437), Milano (497) e Genova (490)².

Oltre che consistente, il parco automobilistico risulta **molto vecchio e inquinante**, ulteriori elementi che non muovono a favore della decarbonizzazione delle città italiane. Con attenzione all'anno di immatricolazione, le autovetture hanno un'età

^A Numero di autovetture ogni 1.000 residenti.

mediana molto elevata e pari a oltre 12 anni, la stessa degli autobus urbani secondo i dati dell'ASSTRA (*l'Associazione nazionale delle aziende di trasporto pubblico locale*). La vetustà dei mezzi privati si riflette sulla composizione per classe ambientale e sul tipo di alimentazione: con attenzione alle sole neo-immatricolazioni, nonostante un miglioramento rispetto al passato, nel 2021 continua a prevalere la categoria ICEV (*internal combustion engine vehicle*), il 61% del mercato, mentre la quota elettrica continua a rimanere minoritaria e pari al 4,6% (rispetto alla media europea dell'11,5% e ai valori di alcuni Paesi europei quali Norvegia, 75%, Germania, 12% e Regno Unito, 11,5%^{3,4}). Se poi prestiamo attenzione non solo alle neo-immatricolazioni ma all'intero parco auto, nel 2021 il 53% dei veicoli presentava una classe di emissione di inquinanti inferiore a Euro 5 e l'88% possedeva un'alimentazione tradizionale a benzina o diesel. La quota elettrica e ibrida (pari al 3%, di cui lo 0,3 solo elettrico), come noto molto positivamente associata alle nuove scelte di acquisto, appare però ancora residua. La situazione non è migliore per gli autobus: secondo i dati dell'*Osservatorio sul trasporto pubblico locale* nel 2021 circa 17.000 autobus (il 44 per cento del totale) adibiti ai trasporti urbani e extra-urbani erano di categoria inferiore a Euro V².

La bassa sostenibilità del sistema di mobilità nelle città italiane è confermata dai dati sul **riparto modale**, con attenzione sia alla domanda potenziale di spostamento rilevata dalle indagini campionarie sia alla distribuzione dei viaggiatori per tipo di mezzo di trasporto. Le analisi che seguono fanno riferimento all'anno 2019, ultimo anno pre-pandemia, in quanto le restrizioni imposte dal Covid-19 sui mezzi di trasporto pubblico hanno influenzato fortemente lo share modale con una coda ancora sensibile nel 2022.

Box 1: Mobilità sostenibile

I dati dell'Osservatorio Audimob dell'Isfort mettono in evidenza che, nel corso degli ultimi vent'anni, la mobilità sostenibile (con mezzo pubblico e modalità attive) è rimasta pressoché costante (37% del totale degli spostamenti nel 2002 e 38% nel 2020⁵). Nel 2020 la quota automobilistica si è mantenuta su livelli molto elevati pari al 59% degli spostamenti e quella pubblica su percentuali inferiori ai valori già bassi del comparto modale (pari sempre nel 2020 al 5,4%). Giustificato dal forte calo della domanda di trasporto pubblico durante la fase pandemica, il dato negativo dei mezzi pubblici è compensato dall'incremento della quota modale pedonale (dal 24% degli spostamenti nel 2018 al 29% del 2020). Rispetto al 2018 la mobilità ciclistica ha visto invece una riduzione dal 4,3% al 3,8% degli spostamenti. Una ripartizione composta dal 62% di spostamenti con mezzi privati a motore, dal 33% di mobilità attiva e da solo il 5,4% di mobilità pubblica è quindi ancora molto lontano dall'equilibrio modale più volte indicato dai documenti della Commissione europea.

L'elevato ricorso al mezzo di trasporto privato (autovetture e motociclette) è connesso, similmente a quanto osservato per il possesso, anche alla localizzazione territoriale e alla dimensione demografica delle città, pari, come sopra osservato e con attenzione all'anno 2019, al 65,1% dello share modale degli spostamenti: l'uso del veicolo privato a motore ha un *range* di valori che passano dal 67,2% del Sud-isole e 67,6% del Nord-Est al 59,5% del Nord-Ovest (e, specularmente, dal 7,5% del TPL del Sud-isole al 15,2 del Nord-Ovest). Similmente, al diminuire della dimensione demografica della città aumenta la quota di mobilità veicolare privata e diminuisce quella pubblica, con valori percentuali degli spostamenti nelle città di più di 250.000

abitanti che sono pari rispettivamente al 52,3% per i mezzi privati (sempre auto più moto) e al 19,1% per il trasporto pubblico, e in quelle con meno di 10.000 abitanti rispettivamente al 76,1% e al 6,1%. Il dato è particolarmente problematico se si considera che nel nostro Paese il 56% della popolazione vive in comuni con meno di 10.000 abitanti⁶. L'elevato ricorso al mezzo privato a motore appare quindi fortemente associato alla minore offerta o alla più difficile accessibilità al trasporto pubblico, situazione più presente nei comuni di minore dimensione nelle aree esterne alle principali conurbazioni metropolitane.

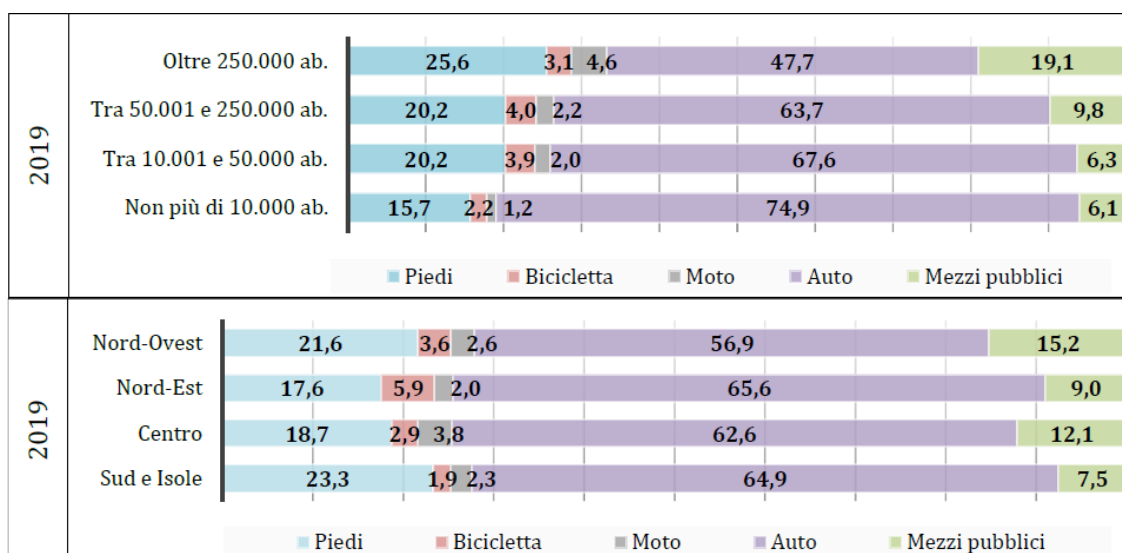


Figura 2: distribuzione percentuale degli spostamenti per modo di trasporto utilizzato, ripartizione territoriale e dimensione delle città per numero di residenti riferiti all'anno 2019 (fonte ISFORT, 2021⁵)

L'analisi per città metropolitana (realizzata sempre sull'anno 2019) mostra un esito altrettanto prevedibile, se non altro per la maggiore offerta di servizi, mettendo in evidenza la presenza di un miglior riparto modale e di una maggiore propensione alla mobilità attiva nelle realtà metropolitane (28,5%) che nel resto del Paese (26,6%). Tra le aree metropolitane, i valori più sostenuti di mobilità attiva si riscontrano a Bari (36,7%), Firenze (31,5%), Napoli (31,4%), Torino (30,5%) e Milano (30,4%), laddove nelle città del Sud il risultato è dovuto soprattutto ai valori più elevati degli spostamenti a piedi mentre in quelle del Nord alla mobilità ciclistica; le aree con le quote più basse di mobilità attiva sono invece presenti a Messina (18,7%), Reggio Calabria (18,9%), Roma (23,4%) e Catania (26%).

L'analisi di medio periodo per tipo di Comune e ripartizione territoriale consente infine di osservare la presenza di una dinamica positiva di contenimento **dell'indice di potenziale inquinante delle autovetture italiane**, con un decremento del 21% circa della quota di automobili di classe ambientale inferiore a Euro 4 a benzina o diesel (Tabella 14). Tuttavia, continua a essere prevalente la quota di auto a elevato indice di potenziale inquinante, soprattutto nei Comuni capoluogo di città metropolitana del Sud. In sintesi, nonostante il parco automobilistico nazionale risulti migliorato rispetto al passato, in termini di tipo di motorizzazione e di età media dei veicoli, continua ad essere troppo consistente e a motorizzazione tradizionale fortemente inquinante. Elementi che, con tutta evidenza, non muovono a favore del raggiungimento dell'obiettivo delle "città a zero emissioni", **ottenibile solo con**

quote importanti di mobilità pubblica e veicolare elettrica (vedi Box 4) e di mobilità attiva a piedi e in bicicletta.

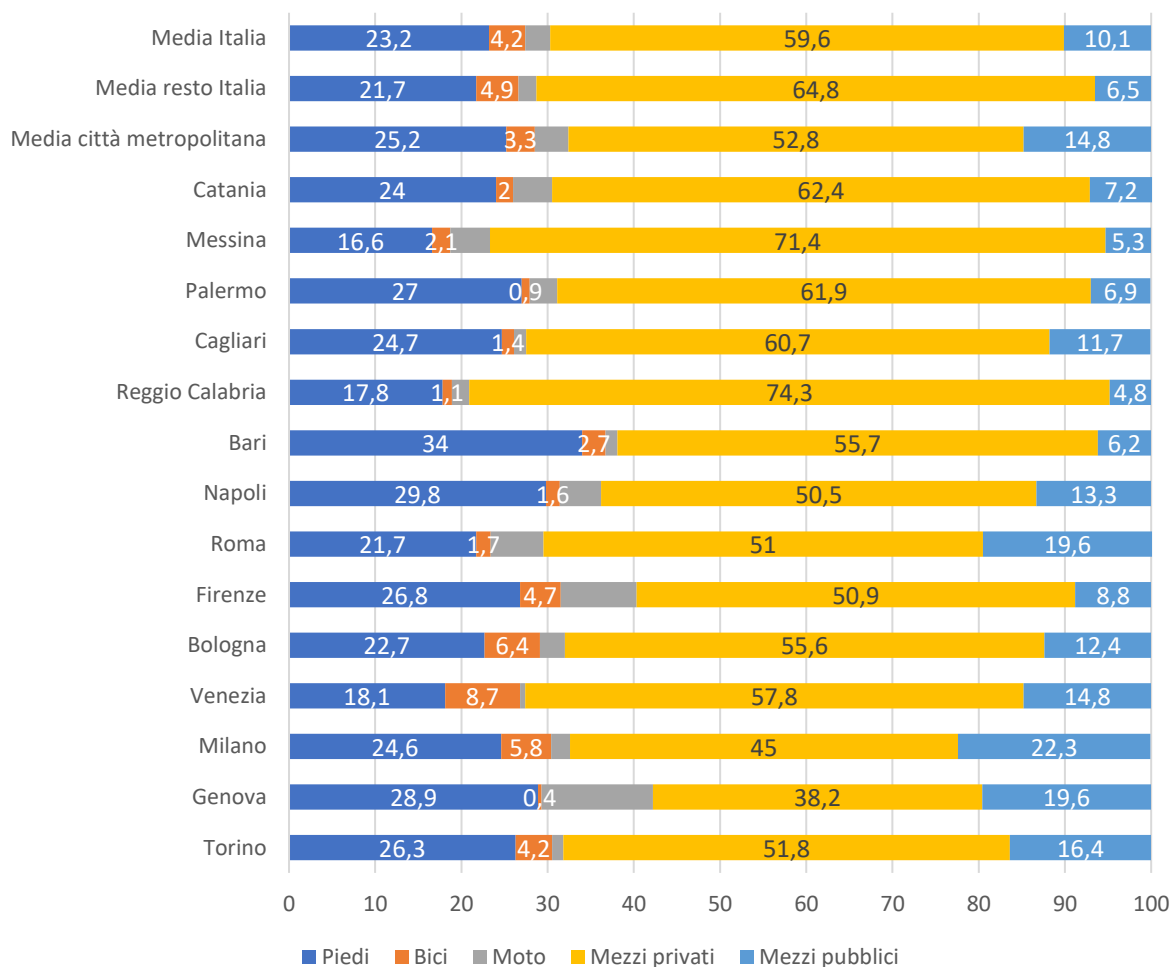


Figura 3: Il riparto modale nelle Città metropolitane (distribuzione % degli spostamenti, media triennio 2017-19). Fonte: Isfort 2021⁵.

Indice di potenziale inquinante*

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Tasso di variazione 2020-2015	Scarto dalla media (2020)
Torino	149	140	130	127	123	119	-20,1	-8
Genova	155	147	140	135	130	125	-19,4	-2
Milano	151	144	138	132	127	122	-19,2	-5
Venezia	146	138	131	125	119	115	-21,2	-12
Venezia	146	138	131	125	119	115	-21,2	-12
Firenze	138	132	126	122	118	114	-17,4	-13
Roma	161	152	143	135	128	122	-24,2	-5
Napoli	258	240	224	210	197	188	-27,1	61

Bari	164	154	146	138	132	127	-22,6	0
Reggio di Calabria	200	189	179	170	163	157	-21,5	30
Palermo	190	180	171	163	156	150	-21,1	23
Messina	196	186	177	168	160	154	-21,4	27
Catania	251	236	221	209	197	189	-24,7	62
Cagliari	177	168	159	152	145	140	-20,9	13
<hr/>								
Capoluoghi di								
Città Metropolitana	168	158	149	143	136	131	-22,0	4
Altri comuni capoluogo	157	148	140	134	128	123	-21,7	-4
<hr/>								
Nord	146	138	131	125	120	116	-20,5	-11
Centro	155	146	138	131	125	120	-22,6	-7
Mezzogiorno	201	189	178	168	160	153	-23,9	26
<hr/>								
Italia	162	153	145	138	132	127	-21,6	0

*autovetture di alto/medio potenziale per 100 autovetture a medio/basso potenziale

- alto potenziale: Euro 0 - Euro 3;

- medio potenziale Euro 4 - Euro 6 (a benzina o gasolio);

- basso potenziale: elettriche, ibride, a gas e bi-fuel.

Fonte: elaborazione su dati MIMS 2022².

Tabella 14: Indice di potenziale inquinante per capoluoghi di città metropolitana, tipi di capoluogo e ripartizioni geografiche

Il tema dell'eccessiva motorizzazione si collega a quello della trasformazione della **forma urbana e della scarsità delle infrastrutture per la mobilità attiva**. Innanzitutto, perché, come sopra evidenziato, l'eccessiva presenza di veicoli in movimento e in sosta toglie spazio a pedoni e ciclisti. Ma anche perché la loro pervasività peggiora la qualità dell'ambiente urbano scoraggiando spostamenti come quelli attivi che più risentono dall'ambiente in cui sono collocati. L'analisi della dinamica di breve periodo **dell'offerta di infrastrutture per la mobilità attiva** nelle città italiane mostra la presenza di un miglioramento dell'offerta, all'interno però di uno scenario caratterizzato da forti differenze territoriali e da valori ancora molto distanti da quelli delle città dei Paesi europei più impegnati sul fronte della mobilità attiva.

Box 2: Aree pedonali e Zone 30 km/h

Prestando attenzione alla superficie delle aree pedonali, nel periodo compreso tra il 2013 e il 2019 essa è cresciuta da 37,2 metri quadrati per 100 abitanti a 45,7⁷. Continuano tuttavia a permanere le forti differenze tra le diverse aree del Paese,

con 59,8 m²/100 nel Nord, 39,8 nel Centro e 32 nel Sud Italia. Un ulteriore indicatore che fornisce valori ambivalenti è quello relativo alle zone 30 (km/h) e a traffico limitato. Con attenzione all'anno 2020, sono 102 (sul totale di 111) i comuni capoluogo di provincia e di città metropolitana ad essere provvisti di zone a traffico limitato (14 nei capoluoghi di città metropolitana, la totalità, e 88 nei rimanenti comuni capoluogo). Un buon numero che tuttavia presenta ancora differenze territoriali a vantaggio del Nord (47 rispetto ai 33 del Sud e 22 del Centro), dinamiche stazionarie (essendo pari al valore dell'anno 2019) e una componente ancora minoritaria di zone 30 (in 70 comuni capoluogo) come noto più positivamente associate alla mobilità attiva.

Simile la situazione per quanto riguarda le **infrastrutture per la mobilità ciclistica**. A parte le città metropolitane di Venezia, Bologna e Milano, che presentano valori di poco superiori al 5%^B, nel resto del Paese la domanda di mobilità ciclistica continua a collocarsi su valori molto bassi, soprattutto al Sud e nelle isole. Tuttavia, negli ultimi 5 anni l'offerta ha avuto un incremento, passando da 4.117 km di piste del 2015 a 4.971 del 2020 (con le previste differenze a favore del Nord in cui sono 3.620, il Centro 885 e il Sud 465, sempre con attenzione ai soli Comuni capoluogo⁷). Anche la densità delle piste ciclabili è cresciuta, passando da 19,8 km per 100 km² di superficie del 2013 a 24,2 del 2019, con le solite forti differenze tra il Nord, 57,9 e il Sud, 5,4).

In sintesi, è possibile affermare che, nonostante un significativo miglioramento complessivo dell'offerta, sia di infrastrutture per la mobilità pedonale che ciclistica, continuano a permanere limiti in termini di elevate differenze territoriali e di basso aumento della domanda. Quest'ultimo problema rinvia ad una pluralità di cause, tra le quali le più rilevanti riguardano la qualità dei servizi e la localizzazione territoriale della domanda.

Con attenzione al primo aspetto, le evidenze rilevate in occasione degli studi sulla **qualità delle infrastrutture della mobilità attiva** mostrano il permanere di problemi che ne limitano l'utilizzo, in termini di qualità e sicurezza dei percorsi pedonali e ciclistici lineari e di attraversamento e degli spazi di sosta. Il tema della **localizzazione territoriale della domanda** si connette invece al problema della elevata dispersione degli insediamenti che caratterizza l'attuale fase di trasformazione urbana. I dati sulla disponibilità di infrastrutture per la mobilità attiva si riferiscono a Comuni capoluogo di provincia, normalmente meglio provvisti di servizi. È stato tuttavia osservato che la maggior parte della popolazione italiana vive in Comuni di piccole dimensioni nei quali è minore l'offerta di lavoro e di servizi generali e di trasporto e le distanze sono troppo elevate per essere percorse a piedi e in bicicletta. Si tratta del noto problema dell'incremento dell'uso del suolo a fini urbani e della dispersione insediativa associata ai processi di sub e peri-urbanizzazione (*urban sprawl*), in molti documenti europei citato come una delle principali cause dell'aumento della motorizzazione privata a discapito della mobilità con mezzo pubblico e attiva. Collocate nelle periferie delle vaste aree urbane e metropolitane nazionali, le aree periurbane associano alla bassa densità insediativa, elevati flussi di spostamenti sistematici in direzione dei *core* e dei sub-poli metropolitani, in buona parte effettuati con le autovetture private.

^B Il record tra le città capoluogo spetta a Ferrara con i suoi 170 km di piste ciclabili in sede propria, su corsia riservata, e come percorsi promiscui pedonali e ciclabili (<https://servizi.comune.ferrara.it/7353/piste-e-percorsi-ciclabili>).

Il tema della difficile mobilità pubblica e attiva nelle periferie delle vaste aree urbane e metropolitane in cui vive oggi una quota crescente di popolazione richiama quello **dell’offerta dei nodi di interscambio modale**, un’ulteriore infrastruttura di supporto alla mobilità attiva (oltre a quelle sopra descritte). Sebbene i nodi servano essenzialmente allo scambio tra modalità veicolari (tipicamente tra mezzo privato e pubblico), essi possono essere utilizzati anche per quello tra i mezzi della micro-mobilità (soprattutto biciclette) e mezzi privati e pubblici. Ovviamente a condizione di essere serviti da piste ciclabili, parcheggi sicuri per biciclette e servizi idonei al caricamento dei mezzi elettrici. In sistemi caratterizzati dall’elevata dispersione degli insediamenti e dei flussi di spostamento i nodi intermodali possono favorire la mobilità attiva, se non sull’intero percorso origine-destinazione almeno in alcune sue tratte (in particolare nel cosiddetto primo e ultimo miglio). Tuttavia, anche l’offerta di nodi di interscambio mostra limiti che occorre risanare con interventi migliorativi. Sempre secondo l’indagine “*I dati ambientali di città*” dell’Istat⁷, nel breve periodo la disponibilità di parcheggi di scambio nei Comuni capoluogo di provincia è rimasta costante e pari nel 2019 a 12,8 stalli ogni 1.000 vetture circolanti (era 12,6 nel 2015). Allo stesso modo, la percentuale di spostamenti intermodali continua a mantenersi molto bassa, l’1,7% nel 2020, ancora più contenuta del 2,4% del 2004.

In questo scenario critico, un dato potenzialmente positivo – anche se controbilanciato dal crollo di share del trasporto pubblico locale nel periodo della pandemia – riguarda invece l’aumento dei **servizi di mobilità condivisa** (*car sharing, bike sharing e scooter sharing*) – già ricordato per le nove città “*Carbon-Neutral@2030*” – la cui offerta è stata significativamente potenziata dall’introduzione dei nuovi servizi di micro-mobilità elettrica, operati per mezzo di monopattini e presenti, nel 2020, in 22 Comuni Capoluogo con una flotta di quasi 30.000 veicoli. Nel corso del 2020 tutte le modalità di mobilità condivisa hanno incrementato la propria offerta in termini di disponibilità di veicoli, tranne il *car sharing*, più penalizzato dalla pandemia.

La compresenza di elevati livelli di motorizzazione e di riparti modali fortemente auto-dipendenti ha conseguenze negative in termini di aumento dell’emissione di inquinanti, incidentalità e bassa qualità dell’ambiente urbano. In particolare, il problema della sicurezza e dell’**incidentalità stradale** ha un effetto sul senso di sicurezza necessario per la scelta della mobilità attiva. Come noto l’andamento dell’incidentalità stradale è fortunatamente è diminuzione, sia in Europa che nel nostro Paese. Prestando attenzione ai tassi di mortalità per incidente stradale nei Paesi europei (numero di vittime per milione di abitanti), pari a 62,8 nel 2010 essi scendono al valore di 48,1 nel 2019. Anche nel nostro Paese nello stesso periodo si è avuta una diminuzione degli incidenti mortali da 3.871 a 2.892 (-23%), così come degli incidenti e dei feriti (che hanno visto una riduzione rispettivamente del 19,2% e del 20,8%, Tabella 15).

	2010	2018	2019	Variazione % 2019-2010
Incidenti	212.997	172.553	172.183	-19,2
Incidenti mortali	3.871	3.086	2.982	-23,0
Morti	4.114	3.334	3.173	-22,9
Feriti	304.720	242.919	3.173	-20,8

Tabella 15: Incidenti, incidenti mortali, morti e feriti per tipologia di strada - Anni 2010, 2018, 2019. Fonte: MIMS 2022².

Si tratta di un risultato positivo muovendosi in direzione dell'obiettivo "zero morti sulle strade" entro il 2050 del *Libro bianco dei trasporti* dell'Unione europea, sebbene la positiva riduzione delle vittime del 42% sia ancora di qualche punto lontana dal target di -50% fissato a livello internazionale con attenzione al periodo 2010-2020. Anche se la mortalità nazionale dovuta a incidenti stradali è di poco superiore alla media europea (42,3 morti ogni milione di abitanti contro 40,3), è però molto più elevato rispetto a quello dei maggiori Paesi europei.

Box 3: Incidentalità stradale

Prestando attenzione alle categorie di utenti della strada più esposti al rischio di incidentalità, nel 2019 le fasce di età più a rischio erano quelle dei giovani tra 20 e 29 anni (14,7% del totale, 75 decessi per un milione di residenti) e degli anziani tra 75 e 89 anni (18% del totale e 90,8 decessi per un milione di residenti). Nel 2019 l'aumento dei morti ha riguardato in modo particolare i ciclisti (+15,5%) e i motociclisti (+1,6%), che si confermano le categorie più a rischio. Nel complesso gli utenti più vulnerabili rappresentano ben il 49,6% dei decessi. È poi interessante osservare che nel 2019 è aumentato il numero di incidenti sulle strade urbane, così come quelli causati da comportamenti scorretti nei confronti dei pedoni (velocità troppo elevata e soprattutto inosservanza della segnaletica⁸).

La possibilità di operare spostamenti modali favorevoli al raggiungimento dell'obiettivo "zero emissioni" è connessa, come noto, alla capacità di **integrare politiche che operano sulle diverse dimensioni del sistema di mobilità**: sull'offerta e sulla qualità delle infrastrutture e dei servizi, sulla domanda e sulle sue caratteristiche socio-territoriali, ma anche sulla forma degli insediamenti; ma anche sulla capacità di integrare politiche di concessione (per esempio di servizi, incentivi...), con misure di restrizione (dell'uso dei mezzi privati a motore) e con interventi innovativi (sul versante tecnologico e organizzativo). Ad essi sarà dedicata attenzione nella sezione che segue, in riferimento agli obiettivi definiti dai programmi comunitari di sviluppo della mobilità sostenibile e ai relativi indicatori, in particolare da *Fit for 55* e *Urban Mobility Framework* (UMF) della Commissione europea. Coerentemente con le misure indicate dal Programma UMF per raggiungere l'obiettivo "zero emissioni", ovvero mobilità attiva, condivisa, a zero emissioni, intermodale e integrata, sul versante della mobilità attiva le misure potenzialmente attivabili dalle città per raggiungere l'obiettivo delle 100 città intelligenti e climaticamente neutrali sono le seguenti.

Innanzitutto, la **riduzione dell'auto-dipendenza**, in termini di possesso e utilizzo. Le città italiane, come abbiamo visto, hanno un numero eccessivo di veicoli, in particolare autovetture, circolanti e in sosta, con conseguenze negative sulla qualità dell'ambiente urbano. Gli interventi di contenimento dell'auto-dipendenza sono finalizzati a ridurre il possesso delle autovetture private e le immatricolazioni, incrementare la quota elettrica, migliorare il riparto modale attraverso interventi di *shift* modale a vantaggio delle modalità attive, ridurre i livelli di incidentalità e mortalità stradale al fine di raggiungere l'obiettivo "zero morti sulla strada" entro il 2030 e di posizionarsi sui livelli più bassi di incidentalità delle città più virtuose europee, in particolare per pedoni e ciclisti.

Un secondo settore di interventi riguarda **l'incremento e al miglioramento delle infrastrutture e dei servizi per la mobilità attiva**, intervenendo in particolare per: aumentare la dimensione e la qualità dello spazio urbano pedonabile; incrementare l'uso della bicicletta per gli spostamenti sistematici casa-scuola/lavoro (anche attraverso il potenziamento della figura del *mobility manager* d'area e

aziendale); creare *hub* intermodali e migliorare la qualità di quelli esistenti (finalizzati ad aumentare i livelli di intermodalità e l'integrazione tra mobilità collettiva e attiva e a garantire la continuità delle corsie ciclabili e l'accessibilità al trasporto pubblico); aumentare l'offerta di servizi di mobilità condivisa in generale e in particolare nel settore della micro-mobilità, soprattutto nelle aree sub e peri-urbane in cui è più consistente la domanda e negli *hub* intermodali.

Un terzo settore di interventi riguarda la **promozione di politiche di restrizione** finalizzate a limitare il diritto d'uso e di accesso dei veicoli a motore privati nello spazio urbano. Al fine di incrementare le misure di restrizione, un primo intervento è orientato ad applicare oneri specifici all'uso dei veicoli privati in ambito urbano e rendere più severi i codici della strada. Risultano sicuramente meno impopolari e più eque le misure sui codici della strada finalizzate a ridurre la velocità di circolazione e limitare gli accessi e le possibilità di parcheggio dei veicoli nelle città. Fanno invece parte delle misure, ancora eccezionali, gli interventi di *road pricing*, *congestion charge* e *no car districts*, *parking and congestion pricing* (ad esempio le misure di Sfpark adottate in città come San Francisco negli USA), presenti in alcune città nord-americane ed europee e ancora in poche città italiane^{C9}.

Un quarto settore di interventi concerne invece le **politiche integrate urbane e dei trasporti** finalizzate a contenere la dispersione insediativa e l'uso del suolo e a promuovere programmi di ridensificazione e mix funzionale a favore della rivitalizzazione dei quartieri e della mobilità di prossimità. Questi interventi fanno leva sull'obiettivo di migliorare la destinazione d'uso del territorio nel tentativo di restituire coesione alle città e limitare l'utilizzo dei veicoli privati^D. Essendo le scelte modali strettamente connesse alla forma urbana, alcuni autori hanno suggerito di dedicare maggiore attenzione nella pianificazione territoriale alle dimensioni che più favoriscono la mobilità di prossimità e la sosta delle persone, le cosiddette "le cinque D" di cui parlano Ewing e Cervero nei loro testi: *density*, *diversity*, *design*, *destination accessibility* e *distance to transit*¹⁰. Si inseriscono in questo contesto anche le proposte di *Ville du quart d'heure* di Hidalgo a Parigi, così come i *superblocks* a Barcellona, i *20 minutes neighborhoods* a Portland, le *walkable communities* in Nuova Zelanda e, a Milano, il *Progetto Piazze aperte*.

Le succitate politiche di ridensificazione e di integrazione degli strumenti di pianificazione territoriale e dei trasporti hanno diverse conseguenze positive, dirette e indirette, sul trasporto pubblico, in particolare ferroviario urbano (*metro rail*, *commuter rail*, *light rail* e *bus rapid transit*, ecc.). Tale impatto positivo dipende innanzitutto dal fatto che solo nelle aree ad elevata densità insediativa il livello della domanda, quindi di capacità di flusso, è sufficiente per finanziare, attraverso i biglietti

^C Tra le città che hanno proposto e attuato questa tipologia di interventi si ricorda Berlino, con la campagna *Autofrei* finalizzata a vietare l'ingresso delle automobili private in un'area di 88 kmq del centro urbano prima occupato per il 58% dalle auto (rispetto al 3% delle biciclette). Quartieri car-free sono presenti anche a Vauban-Friburgo, Nordmannngasse-Vienna, GWL Terrein-Amsterdam e BedZED-Londra. Città interamente o con traffico molto limitato sono anche Pontevedra in Galizia, Louvain-la-Neuve in Belgio, Zermatt in Svizzera e Baltrum in Germania.

^D Ne sono esempio le politiche di ridensificazione promosse dalle città di Copenaghen, Stoccolma, Bruxelles, Amburgo in Europa, Hong Kong, Tokyo e Nagoya in Asia e Boston negli Stati Uniti, o la scelta di Londra di edificare il 75% di nuovi uffici in zone ad elevata accessibilità con i mezzi pubblici e il 95% dei nuovi insediamenti in aree urbane riqualificate ad elevata densità di servizi al fine di contenere la dispersione urbana il consumo di suolo (Rode, 2013).

e le sovvenzioni, gli elevati costi necessari alla loro realizzazione e mantenimento. Ma anche perché nelle aree urbane molto dense vi sono ulteriori potenziali fonti di finanziamento che sfruttano l'elevato valore fondiario delle zone prossime ai nodi e alle reti ferroviarie (utilizzando parte delle tassazioni comunali applicate ad insediamenti residenziali, commerciali e produttivi per finanziare gli investimenti dei sistemi di trasporto urbano su ferro¹¹).

Un ultimo settore di interventi riguarda le **politiche che agiscono sulla domanda di mobilità e sul cosiddetto *soft demand management***. Vi fanno parte le succitate politiche di *mobility management* ma anche gli interventi di innovazione organizzativa che agiscono sugli orari della città e sui tempi/luoghi di lavoro (*smart working*) così come gli interventi finalizzati alla transizione modale agendo sul cambiamento delle abitudini di mobilità (noti nella letteratura anglosassone con la sigla VTBV – “*voluntary travel behaviour change*”).

In conclusione, troppo spesso considerate la causa del deterioramento delle risorse e dell'ambiente naturale e umano, le città possono diventare i **luoghi in cui sperimentare interventi innovativi di transizione ecologica e sviluppo sostenibile**. Non solo in virtù del fatto che presentano una densità di insediamenti e funzioni che consentono di sperimentare efficienti interventi di riorganizzazione territoriale della domanda e offerta di servizi, ma anche per il fatto che al suo interno vivono e lavorano eccellenze sociali e professionali che possono svolgere un ruolo innovativo nel cambiamento dei comportamenti e nella sperimentazione degli interventi per lo sviluppo sostenibile. Il ventaglio delle politiche a disposizione degli amministratori è molto ampio, in particolare se si adotta un approccio favorevole all'integrazione degli interventi in termini di contenuti e a livello territoriale. La mobilità sostenibile, in tal senso, può essere ottenuta solo facendo interagire le politiche sui trasporti con quelle urbanistiche e con le politiche edilizie e sociali. Allo stesso modo, la loro efficacia è molto contenuta se limitata ai confini dei Comuni, essendo la mobilità un fenomeno per natura privo di limiti che richiede l'attivazione di politiche di area vasta conformi ai bacini di spostamento delle persone. La pianificazione dei trasporti e urbanistica integrata deve guardare all'intero sistema della domanda e dell'offerta con l'obiettivo di creare zone a basse emissioni (LEZ) a prevalente mobilità attiva e pubblica. Quest'ultima, al di là del necessario incremento dell'offerta, soprattutto in alcune aree del Paese deve migliorare la qualità e l'efficienza intervenendo sulla migliore distribuzione territoriale e temporale.

Box 4: La decarbonizzazione del trasporto pubblico locale

Nel Rapporto STEMI “*Decarbonizzare i trasporti: evidenze scientifiche e proposte di policy*”, pubblicato ad aprile 2022, è stato approfondito l'impatto delle diverse tecnologie applicate al settore dei trasporti. In particolare, si riporta di seguito un estratto relativo al TPL: “Le tecnologie di decarbonizzazione dei veicoli per il trasporto pubblico locale, in particolare urbano, sono del tutto analoghe a quelle per i veicoli leggeri e pesanti usati in ambito cittadino [...], centrate prevalentemente su soluzioni elettriche a catenaria (filobus, tram, metropolitane) o a batteria. In questo segmento, l'elettrificazione diretta ha costi operativi inferiori rispetto alle alternative, trattandosi di veicoli usati in maniera intensiva su percorsi limitati e prevedibili in ambito urbano. Inoltre, nonostante le necessità di adattamento e adeguamento alle norme antincendio, è possibile disporre di ampi spazi di parcheggio dedicati che risultano più facilmente dotabili di stazioni di ricarica a elevata potenza, da utilizzare tipicamente nelle ore notturne, cioè quando domanda sulla rete e costo dell'elettricità sono tendenzialmente ai minimi. In sviluppi recenti, la tendenza spiccata verso una transizione verso l'elettrico delle flotte di autobus urbane, visibile su scala europea e globale (quindi rilevante per il mercato di esportazione e non solo quello interno) ha già iniziato a estendersi anche al trasporto pubblico regionale. [...]”

La decarbonizzazione delle infrastrutture di trasporto: porti e aeroporti

I porti

Nel momento in cui le navi sono in porto, i motori e i generatori ausiliari restano accesi per fornire i servizi energetici di bordo, creando seri problemi di inquinamento nelle città portuali, oltre che emissioni consistenti di CO₂.

Secondo l'IMO, le emissioni di gas climalteranti (anidride carbonica – CO₂, metano – CH₄ e ossido di diazoto – N₂O, espressi complessivamente in CO₂eq) relative al trasporto marittimo tra il 2012 e il 2018 sono aumentate del 5,8%, dal 977 a 1.076 milioni di tonnellate, pari al 2,89% delle emissioni globali di gas climalteranti derivate da attività antropogenica¹².

Di questa percentuale, l'11% delle emissioni globali di gas serra marittime è prodotto da navi che sono ancorate o ormeggiate e questa quota è superiore al 20% nel caso di petroliere e navi per il trasporto di prodotti chimici¹². Per affrontare questo problema è possibile intervenire per eliminare, o almeno ridurre, l'uso dei motori delle navi in porto attraverso diverse soluzioni tecnologiche che, però, risolvono solo parzialmente il problema delle emissioni di inquinamento e di gas climalteranti.

Alcune di esse sono previste sia nella normativa europea attuale (Direttiva 94/2014/EU) sia nella proposta di regolamento che dovrebbe sostituire tale direttiva¹³.

Una di queste è costituita dal cosiddetto "*cold ironing*" o "*on-shore power supply*", ovvero la possibilità per le navi ormeggiate in porto di collegarsi alla rete elettrica cittadina, potendo così spegnere i motori ausiliari. Così facendo, l'emissione locale di emissioni inquinanti e di gas climalteranti viene azzerata. Chiaramente, sono da considerare gli interventi per fare in modo che la rete elettrica locale riesca a gestire un tale assorbimento di energia e il fatto che, nell'ottica della decarbonizzazione, l'elettricità debba essere sempre più prodotta (anche se in un luogo lontano dal suo consumo) in modo rinnovabile, come previsto dal pacchetto *Fit for 55*.

Un segmento in crescita sul *cold ironing* è quello delle grandi navi da crociera che, per dimensioni e consumi, risultano particolarmente impattanti quando ancorate nei porti con i motori accesi. Questo tipo di navi assorbe infatti grandi potenze elettriche, che necessitano di infrastrutture adeguate^E.

Un'altra soluzione è l'adozione di carburanti alternativi allo Heavy Fuel Oil (HFO), attualmente utilizzato principalmente come fonte di carburante per la propulsione di navi marittime a causa del suo costo relativamente basso.

Uno di questi è il GNL, ossia il gas naturale liquefatto, vale a dire una miscela di idrocarburi costituita prevalentemente da metano (90-99%). Il GNL si ottiene sottoponendo il gas naturale, estratto da giacimenti sotto la superficie terrestre, a un

^E Ad esempio, per fornire energia a tre navi da crociera contemporaneamente, il porto norvegese di Bergen e la società di energia rinnovabile BKK hanno fondato una società che costruirà il più grande impianto di alimentazione elettrica portuale d'Europa.

processo di liquefazione a una temperatura di circa -162 °C che consente la riduzione del volume del gas di circa 600 volte. Rispetto all'HFO, il GNL consente una riduzione di SOx, NOx e PM rispettivamente del 98%, 86% e 96%. Tuttavia, la riduzione di CO₂ è pari soltanto all'11%¹⁴. Se quindi il GNL rappresenta una buona soluzione per la riduzione di gas inquinanti (per quanto rimangano questioni aperte legate alla produzione di nanoparticelle e al loro numero nei fumi), non lo è tuttavia per risolvere il problema del cambiamento climatico, anche perché le emissioni fuggitive di metano nella filiera di estrazione-pompaggio-liquefazione-trasporto-uso sono consistenti, e se queste superano il 4-5%, l'impatto climatico del metano è comparabile a quello del carbone.

Ciò nonostante, diversi sono gli armatori che hanno adottato questo carburante alternativo per le loro navi. Ad aprile 2022, erano 175 le navi a propulsione di gas naturale liquefatto in funzione in tutto il mondo¹⁵.

Altre tecnologie, seppur non mature, includono l'adozione di metanolo e idrogeno liquido come carburanti alternativi¹⁶.

Anche in questi casi, oltre al costo di produzione, il problema principale di entrambi questi carburanti è come essi vengono prodotti, se con fonti fossili o energia rinnovabile, con il rischio soltanto di "spostare" geograficamente il luogo di emissione di gas inquinanti e climalteranti.

I paesi del Nord Europa sono all'avanguardia su questo tema. Infatti, già dal 2005 il Mar Baltico e dal 2006 il Mare del Nord sono due "Emission Control Area" (ECA), vale a dire aree marine in cui sono stati stabiliti controlli più severi per ridurre al minimo le emissioni atmosferiche delle navi in termini di SOx, NOx, ozono e composti volatili, come definito dall'Allegato VI del Protocollo MARPOL del 1997.

Il porto di Stoccolma, ad esempio, offre la possibilità di *cold ironing* già dagli anni '80, seguito dal porto di Göteborg negli anni '90; i porti finlandesi di Kemi, Kotka e Oulu hanno invece installato impianti di alimentazione elettrica per le navi negli anni 2000. In questi paesi sono stati previsti inoltre meccanismi di sovvenzione agli armatori che intendono dotare le proprie navi di predisposizione all'alimentazione elettrica da terra¹⁷.

L'Italia si caratterizza per un numero molto elevato di porti cittadini – superiore a 30 – per l'attracco di grandi navi passeggeri o merci e richiede pertanto investimenti elevati e distribuiti per dotare tutti i porti di infrastrutture di *cold ironing*, possibilmente alimentati da impianti di energia rinnovabile. Un primo e consistente lotto di investimenti per circa 700 milioni di euro è stato previsto dal Piano Complementare al PNRR.

Gli aeroporti

Le emissioni derivanti dal settore aviazione non sono da attribuire solamente al consumo di carburante durante il volo. Esistono infatti altre fonti di emissioni, provenienti dalle operazioni a terra dei singoli aeroporti, che devono necessariamente essere prese in considerazione se si vuole decarbonizzare, nella sua totalità, il settore del trasporto aereo. Tra queste, le fonti più consistenti derivano dalle cosiddette *ground operations* (ossia tutte quelle operazioni fatte a terra, che permettono l'imbarco dei passeggeri sui velivoli e lo spostamento dei mezzi e dello staff negli spazi aeroportuali) e dalle operazioni a terra del sistema di *management* del traffico

aereo che, dai centri di controllo, consistono principalmente in attività di comunicazione, supporto alla navigazione e sorveglianza.

Per quanto riguarda le *ground operations*, una parte considerevole delle emissioni sussiste nel tempo di attesa e di spostamento dei velivoli sulle piste di decollo in attesa del via libera per partire (il cosiddetto *taxing time*). Si stima che ogni minuto di motore acceso del velivolo in attesa negli *stands* o sulla pista di decollo consumi dai 3 ai 10 kilogrammi di carburante, che potrebbero essere evitati massimizzando l'efficienza nell'assegnazione degli *slot* di partenza e nelle effettive indicazioni d'uso delle piste¹⁸. Per questa tipologia di investimento, il MIMS ha dedicato una specifica linea di intervento nel PNRR. Uno studio di *Sustainable Aviation* (2018)¹⁹, in integrazione a tali evidenze, riporta che nell'aeroporto di London Heathrow per l'anno 2008 si stimava che i movimenti a terra dei velivoli consistessero nel 30% dell'impronta ecologica totale dell'aeroporto. Il *taxing time* è insostenibile dal punto di vista ecologico anche per quanto riguarda il sistema elettrico dei velivoli fermi negli *slot* di stazionamento. In ancora molti casi¹⁸ il sistema elettrico è rifornito tramite Unità di Potenza Ausiliaria (APU) che, non allacciata alla rete elettrica a terra e rifornita a carburante, provvede alla carica elettrica necessaria per far partire il motore e tenere attivi i sistemi interni al velivolo anche quando non è in movimento.

Anche l'*air traffic management* risulta essere una fonte di emissioni non trascurabile. Secondo Eurocontrol (2021b)²⁰, ENAV S.p.A., l'ente dei servizi alla navigazione aerea civile in Italia, attraverso le sue operazioni di controllo dalle torri e dagli altri centri a terra, ha consumato nel 2020 67 GWh di elettricità, valore solo parzialmente prodotto da fonti rinnovabili. Per mettere tale quantità in proporzione, nello stesso anno è stato stimato che tutte le agenzie nazionali dedicate abbiano consumato un totale di 1,140 GWh, che, se totalmente decarbonizzate, eviterebbero 311 mila tonnellate di CO₂ eq all'anno.

Alla luce di tali evidenze, in linea con le raccomandazioni dalla strategia europea per una mobilità sostenibile ed intelligente (*European Commission*, 2020)²¹ si riportano, nella seguente lista, le azioni di *policy* consigliate per decarbonizzare gli aeroporti:

- efficientare la gestione degli *slot* di stazionamento, delle piste di decollo e atterraggio e diminuire i ritardi di volo. Ad esempio, si stima che tramite l'efficientamento della gestione degli arrivi e delle partenze tramite l'A-CDM, ossia un sistema operativo di condivisione di informazioni tra aeroporti, l'aeroporto Fiumicino di Roma abbia diminuito il *taxing time* in media di 90 secondi evitando nel 2018 l'emissione di quasi 12 mila tonnellate di CO₂ (ENAC, 2021)²². A livello europeo, Eurocontrol (2021a)¹⁸ riporta che l'utilizzo a livello europeo di tale sistema evita ogni anno emissioni di CO₂ pari a circa 103 mila tonnellate;
- sviluppare dei sistemi di traino elettrico per muovere i velivoli dagli slot di stazionamento alla pista di decollo. Secondo Eurocontrol (2021a)¹⁸, l'utilizzo di traini elettrici per posticipare il più possibile l'avvio dei motori porterebbe ad una riduzione dell'uso di carburante durante il *taxing time* del 50-85%;
- sviluppare dei sistemi di Unità di Potenza a Terra (GPU) in sostituzione a quelle del velivolo. Come indicato sopra, l'alimentazione elettrica durante lo stazionamento avviene ancora in molti casi tramite sistemi a combustione fossile interni al velivolo. Concettualmente simile al *cold-ironing* per quanto riguarda i porti, i GPU sono delle unità che, allacciate

alla rete elettrica di terra, consentono in una maniera molto più efficiente ed *eco-friendly* di provvedere alla carica elettrica richiesta dai velivoli in fase di stazionamento e avvio di motori. Si stima (Eurocontrol, 2021a)¹⁸ che in media il carburante richiesto per supportare le unità di potenza attuali sia tra i 150 ed i 400 kilogrammi all'ora, mentre quello di una GPU aeroportuale sia di 20 kilogrammi (se non prodotto da fonti rinnovabili). L'aeroporto Stansted di Londra risulta essere una *best practice* per quanto riguarda tale elettrificazione, mentre per quanto riguarda la pianificazione a livello italiano per quanto riguarda gli aeroporti strategici, Malpensa, Linate e Venezia Marco Polo hanno in programmazione lo sviluppo di sistemi GPU di terra (ENAC, 2021)²²;

- rifornire con fonti rinnovabili il consumo elettrico richiesto dai centri di controllo. Per quanto riguarda ENAV S.p.A., è già in pianificazione una strategia (ENAV, 2021)²³ per puntare alla neutralità climatica attraverso target di decarbonizzazione (-80% di emissioni di CO₂ al 2022 rispetto al 2019) e passaggi a fonti energetiche rinnovabili (ad esempio campi fotovoltaici).

¹ Schrotteler, G., Hurzeler, C., The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning, PFG (2020) 88:99–112 <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00092-2>

² Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (2022), Conto nazionale delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, Roma.

³ European Automobile Manufacture's Association (2022), <https://www.acea.auto/>.

⁴ Abbotto A., (2022), La mobilità elettrica. Storia, tecnologia e futuro. Carocci, Roma.

⁵ ISFORT (2021), 18° Rapporto sulla mobilità degli italiani. Governare le transizioni per una ripresa sostenibile. Roma.

⁶ Istat (2017). Forme, livelli e dinamiche dell'urbanizzazione in Italia. Letture statistiche. Territorio.

⁷ Istat (2022), Dati ambientali nelle città. Roma.

⁸ Aci-Istat, 2019, Incidenti stradali nel 2019.

⁹ OECD/IEA, Energy Technology Perspectives 2016. Towards Sustainable Urban Energy Systems.

¹⁰ Ewing R., Cervero R. (2001). Travel and the built environment. Transportation Research Record, 1780, 87-114.

¹¹ OECD/IEA, 2019, The future of rail. Opportunities for energy and the environment.

¹² IMO (2020) Fourth Greenhouse Gas Study. Ottenuto da: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>

¹³ Commissione Europea (2021), Regulation of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council, [<https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/...>].

¹⁴ Elgohary, M, Seddiek, S. and Salem, A.M. (2015) Overview of Alternative Fuels with Emphasis on the Potential of Liquefied Natural Gas as Future Marine Fuel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 229, 365-375. <https://doi.org/10.1177/1475090214522778>

¹⁵ International Gas Union, 2022 LNG World Report. <https://www.igu.org/resources/world-lng-report-2022/>

¹⁶ Per maggiori dettagli, si veda il Rapporto "Decarbonizzare i trasporti" del MIMS.

¹⁷ ITF (2020), Navigating towards cleaner maritime shipping – Lessons from the Nordic region, [<https://www.itf-oecd.org/navigating...>].

¹⁸ Eurocontrol. (2021a). Flying the 'perfect green flight': How can we make every journey as environmentally friendly as possible? Think Paper #10. Ottenuto da:

<https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-think-paper-10-flying-perfect-green-flight>

¹⁹ Sustainable Aviation. (2018). Aircraft on the Ground CO2 Reduction Programme. Ottenuto da: <https://www.sustainableaviation.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/Aircraft-On-the-Ground-CO2-Reduction-Programme-Best-Practice-Guidance.pdf>

²⁰ Eurocontrol. (2021b). Greening European ATM's ground infrastructure: What could ANSPs achieve over the next decade? Think Paper #13. Ottenuto da: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-think-paper-13-greening-european-atms-ground-infrastructure>

²¹ Commissione Europea. (2020). Sustainable and Smart Mobility Strategy – Putting European Transport on Track for the Future. COM/2020/789

²² ENAC. (2021). Italy's Action Plan on CO2 emissions reduction. Ottenuto da: [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ActionPlan/Action%20Plan%202021_250621%20\(1\).pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ActionPlan/Action%20Plan%202021_250621%20(1).pdf)

²³ ENAV. (2021). Sustainability Plan 2021-2023. Ottenuto da: https://cdn-web.enav.it/content/2021-08/Enav_Piano%20sostenibilita%CC%80_ENG_0408.pdf

CAPITOLO 3

Efficientamento energetico degli edifici e soluzioni innovative di decarbonizzazione

Prof. Stefano Corgnati

Dipartimento Energia, Politecnico di Torino

Prof.ssa Sara Cattaneo

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano e ITC-CNR

L'efficientamento energetico

Gli edifici sono responsabili del consumo di oltre il 40% dell'energia richiesta in Europa, rappresentando quindi il primo "soggetto consumatore" dell'Unione, producendo oltre il 35% delle emissioni di gas serra comunitari.

Occorre quindi mettere in atto azioni di efficientamento e risparmio energetico sugli edifici, le quali possono essere raggruppate secondo uno schema piramidale:

- III. alla base si trovano le azioni di riduzione della domanda di energia termica e frigorifera attraverso corrette soluzioni d'involucro e di ventilazione, a cui sono associati i più grandi potenziali di risparmio energetico;
- II. successivamente è opportuno prendere in considerazione l'incremento dell'efficienza dei sistemi energetici a servizio dell'edificio;
- I. in ultima analisi è opportuno coprire, per intero o in larga parte, la rimanente richiesta di energia attraverso l'uso di fonti energetiche rinnovabili.

Questa sequenza trova anche riscontro nella logica del flusso di valutazione della prestazione energetica di un edificio in ambito normativo, che parte dalla determinazione del fabbisogno ambientale di energia per riscaldamento e raffrescamento, passa attraverso le efficienze impiantistiche, alla valutazione del consumo energetico dei combustibili e degli altri vettori energetici, per poi determinare la quota di energia coperta da fonti energetiche rinnovabili.

Infine, è molto importante valutare le emissioni legate alla scelta dei materiali utilizzati nella costruzione degli edifici al fine di ridurre quanto possibile – e in prospettiva giungere ad azzerare – le "embodied emissions" che ogni manufatto si porta con sé dalla nascita a causa della sua composizione. A questo tema è specificamente dedicato paragrafo più avanti.

Un recente report dell'International Energy Agency¹ mostra che in uno scenario mondiale a energia netta zero la fornitura di energia per il riscaldamento ambientale negli edifici residenziali richiederebbe l'eliminazione delle caldaie a carbone e a

gasolio entro il 2025 e una diminuzione delle caldaie alimentate a gas naturale, con un passaggio dal 30% attuale a meno dello 0,5% nel 2050. Contemporaneamente, la copertura del riscaldamento ambientale (pompe di calore) degli edifici residenziali dovrebbe passare dal 20% attuale al 35% nel 2030 e al 55% nel 2050, con la restante quota coperta tramite teleriscaldamento, solare termico e biomassa. Contestualmente, l'elettrificazione e l'efficientamento degli edifici (nuovi ed esistenti) porterebbero ad una diminuzione delle emissioni di CO₂ del 70% circa entro il 2050, che aggiunti all'utilizzo del solare termico, della biomassa e al comportamento virtuoso dell'occupante dovrebbero permettere di raggiungere la quasi totale decarbonizzazione (Figura 4).

Per raggiungere questi obiettivi l'Unione europea dovrà portare avanti politiche che prevedano²:

- l'incentivazione di misure di efficientamento complessivo e profondo dell'edificio;
- l'applicazione dei requisiti minimi di energia all'intero *stock* edilizio comunitario, così da incrementare notevolmente le prestazioni energetiche degli edifici e da tracciare un percorso chiaro con *milestones* definite per il 2030 e il 2050 che portino al concreto raggiungimento del target "zero-emission" nel 2050;
- la definizione di *standard* che fissino i parametri di progettazione "zero-carbon" per tutti i nuovi edifici a partire dal 2025, eliminando la possibilità di utilizzare fonti fossili per il riscaldamento;
- l'eliminazione degli incentivi per l'utilizzo di impianti per il riscaldamento alimentati da fonti fossili, quand'anche efficienti, e redistribuzione di tali fondi a favore dell'installazione di tecnologie per lo sfruttamento di fonti rinnovabili;
- la dismissione degli impianti per il riscaldamento alimentati da fonti fossili negli edifici esistenti entro il 2035;
- l'obbligo di associare l'installazione di pannelli solari sul tetto all'efficientamento dello stesso attraverso la posa di materiale isolante;
- la promozione di piani di efficientamento energetico su larga scala.

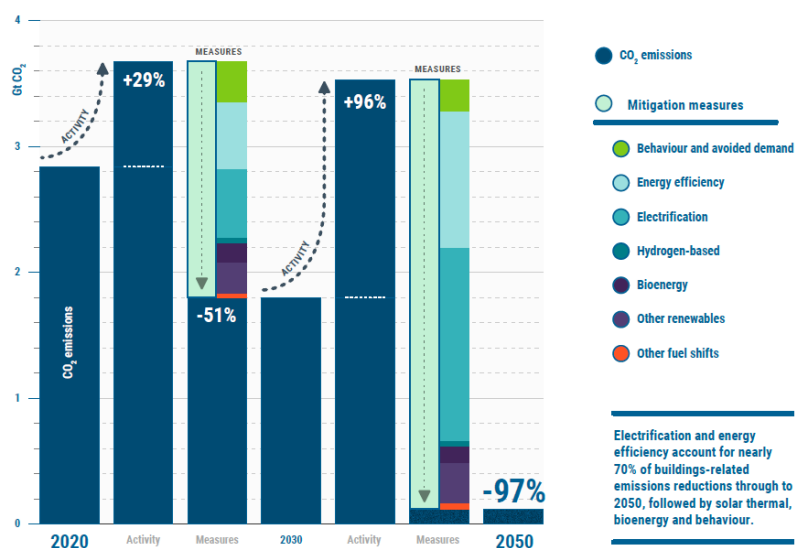


Figura 4: Riduzione delle emissioni di CO₂ attraverso interventi di efficientamento energetico al 2050 (fonte: IEA 2021)

Riduzione della domanda

Occorre prima di tutto attivare strategie per ridurre la domanda di energia e i conseguenti effetti ambientali, agendo con riferimento alle fasi sia di costruzione che d'uso degli edifici stessi.

Ferma restando la garanzia degli adeguati livelli di comfort interno, l'approccio di efficientamento interviene come primo *step* sulla riduzione della domanda di riscaldamento e raffrescamento ambientale, migliorando le prestazioni energetiche dell'involucro edilizio nelle sue diverse componenti tecnologiche nonché riducendo la domanda di energia per ventilazione.

Una volta che si è ridotta la richiesta di energia, la quota richiesta dovrà essere soddisfatta attraverso l'impiego di soluzioni energetico-impiantistiche ad alta efficienza, opportunamente integrate con produzione di energia da fonti rinnovabili. L'introduzione poi di un più ampio uso degli strumenti di digitalizzazione a bordo edificio, ai fini sia di monitoraggio che di regolazione/controllo e di interazione con gli utenti, completa il quadro rispetto a cui orientare gli edifici ad alta prestazione energetica e ambientale (*high performing buildings*)³.

Le azioni dell'occupante (ad esempio, cambio della temperatura impostata – *set-point*, apertura e chiusura finestre, etc.) e modifiche nelle regolazioni impiantistiche influenzano notevolmente la quantità di energia effettivamente consumata, anche in edifici altamente performanti. È chiaramente dimostrato^A come l'azione dell'occupante sulla regolazione della temperatura in ambiente (esempio con passaggio di *set-point* da 20°C a 21°C) porti ad un incremento di circa il 7-8% dei consumi per il riscaldamento ambientale in un edificio in zona climatica E (Nord Italia).

Le scelte progettuali devono essere orientate a rendere minima la domanda di energia su base annuale, con incidenza variabile di riscaldamento e raffrescamento a seconda della zona climatica in cui gli edifici si trovano nonché della loro destinazione d'uso. Per il raggiungimento di una razionale riduzione della domanda di energia concorre il bilanciamento nelle soluzioni scelte per l'involucro edilizio tra una equilibrata distribuzione di superfici opache e trasparenti (in funzione degli orientamenti e della razionale valorizzazione degli apporti solari in regime di riscaldamento), un adeguato livello di isolamento termico e di capacità termica, una corretta identificazione e uso di tecnologie di schermatura solare (per evitare sovra-temperature e limitare la domanda in regime di raffrescamento).

Relativamente agli interventi di isolamento termico dell'involucro maggiormente attuati sulla base della misura Superbonus 110% (dati 2021), essi hanno riguardato in modo prevalente le pareti verticali (67% della superficie oggetto di intervento di isolamento), seguite da tetti e sottotetti (26%).

Gli investimenti attivati per interventi trainanti sull'involucro opaco ammontano a circa 2,6 miliardi di euro, di cui circa 2,5 ammessi a detrazione. Il risparmio energetico annuo è dovuto in larga parte agli interventi su condomini ed edifici

^A Barthelmes V.M., Becchio C., Fabi V., Corgnati S.P. "Occupant behaviour lifestyles and effects on building energy use: investigation on high and low performing building features". In Energy Procedia 140 (2017) 93-101.

unifamiliari, responsabili rispettivamente di una decrescita prevista dei consumi di 228 GWh/anno e 196 GWh/anno^B.

Per quanto riguarda l'Ecobonus, nel periodo 2014-2020 sono stati realizzati circa 2,7 milioni di interventi, di cui circa 490.000 nel 2020: oltre 140.000 per la sostituzione dei serramenti e circa 95.000 per l'installazione di schermature solari (Tabella 16). A partire dal 2011, sono poco più di 3,5 milioni gli interventi effettuati; poco più di 4,5 milioni il totale dall'avvio del meccanismo nel 2007⁴.

Intervento	2014-2019 [n]	2020 [n]	Totale [n]
Riqualificazione globale	20.292	2.117	22.409
Coibentazione involucro	139.295	14.234	153.529
Sostituzione serramenti	1.067.344	140.594	1.207.938
Schermature solari	354.756	94.958	449.714

Tabella 16: Ecobonus: numero di pratiche presentate per tipologia di intervento nel periodo 2014-2019 e nel 2020

Sempre con riferimento alla riduzione del fabbisogno ambientale, un aspetto centrale è legato alla limitazione della domanda di energia per ventilazione. Adeguati tassi di ventilazione sono essenziali per il benessere ambientale, ancor più oggi dove le infiltrazioni d'aria attraverso l'involucro edilizio sono minime: il ricambio d'aria deve essere garantito per ragioni di salubrità, pur senza pesare negativamente sul bilancio energetico dell'edificio. Si sta quindi assistendo ad una crescente penetrazione, anche nel residenziale, dell'impiego di sistemi di ventilazione meccanica con recupero di calore: sistemi in passato già usualmente adottati per grandi volumetrie con elevati affollamenti, ma che grazie al percorso attraverso la *Passivhaus* e l'edificio *nZEB* (*Nearly Zero Energy Buildings*) sono diventati un componente fondamentale per la riduzione dei fabbisogni energetici ambientali per ventilazione, tanto più in un contesto post-pandemia, con una rinnovata attenzione alla necessità di garantire adeguati ricambi di aria.

I sistemi di ventilazione meccanica sono a doppio flusso (mandata aria di rinnovo, ripresa ed espulsione all'esterno dell'aria viziata), possono lavorare a tutta aria esterna o con ricircolo e possono avere una estensione che va da sistemi decentralizzati che servono un solo ambiente con portate di pochi m³/h fino a sistemi a rete con unità di trattamento dell'aria (a recupero di calore) centralizzate che servono diverse unità abitative in edifici residenziali multifamiliari.

Il recuperatore di calore può essere del tipo esclusivamente sensibile o totale, con efficienze superiori al 75% che riducono drasticamente le richieste di energia per la ventilazione dei locali e risultano spesso essenziali per il raggiungimento di classi energetiche particolarmente elevate (da A1 ad A4), pur richiedendo una quota di energia elettrica per la movimentazione dell'aria.

^B Enea (2021). L'efficienza Energetica E L'utilizzo Delle Fonti Rinnovabili Negli Edifici Esistenti. <https://www.pubblicazioni.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=459&catid=8&m=0&Itemid=101>

Seppur ancora caratterizzati da una limitata diffusione rispetto alle dimensioni del mercato, sulla base dei dati Assoclimate⁵ i sistemi di ventilazione meccanica controllata stanno avendo un costante aumento in termini di applicazione: nel 2022 si è registrato un +15% a volume di mercato e +28,1% a valore di mercato.

Gli indirizzi di riduzione della domanda di energia appena enunciati, che riguardano il controllo dei flussi di calore attraverso l'involucro edilizio e associati alla ventilazione degli ambienti, sono affrontabili con l'impiego di tecnologie mature e quindi disponibili sul mercato. Per questo motivo, si richiama la necessità del giusto equilibrio tra livello di prestazione energetica dell'edificio e il livello ottimale di costo in coerenza con quanto già introdotto dalla Direttiva 2010/31/UE (EPBD Recast) attraverso la metodologia di valutazione "Cost-Optimal" - dell'ottimalità di costo (Figura 5).

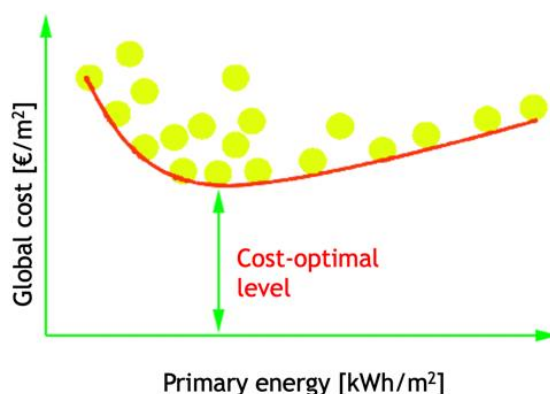


Figura 5: La curva "cost-optimal" (ogni pallino in figura corrisponde ad una alternativa di intervento di efficientamento energetico)

Il concetto di ottimalità di costo, definito come il livello di prestazione energetica che porta al costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato, è quindi un criterio chiave nell'individuazione il pacchetto di interventi di efficientamento da mettere in atto⁶.

Aumento dell'efficienza dei sistemi impiantistici

Le azioni di efficientamento sugli impianti degli edifici devono essere prese in considerazione, come evidenziato nel precedente paragrafo, una volta che siano stati ridotti i fabbisogni di energia termica e frigorifera per la climatizzazione.

Tuttavia, è ben noto in letteratura come le azioni di efficientamento relative a componenti impiantistici di regolazione e controllo (come l'installazione di valvole termostatiche), per i loro costi iniziali e di installazione in rapporto ai risparmi energetici conseguibili, risultano preferibili in termini di tempi di ritorno degli investimenti economici, rispetto alle azioni di efficientamento relative ad es. ai componenti edilizi (come gli isolamenti termici dall'esterno e la sostituzione dei serramenti)^c.

^c V. Monetti et al., Impact of low investment strategies for space heating control: application of thermostatic radiators valves to an old residential building, Energy and Buildings, ISSN 0378-7788, vol. 95 (2015), pp. 202-210. Doi: 10.1016/j.enbuild.2015.01.001.

L'analisi dell'efficienza energetica dei componenti che caratterizzano la conversione delle fonti energetiche disponibili in energia termica, frigorifera ed elettrica può essere distinta principalmente in due sotto-sistemi: quello dei terminali impiantistici che consentono per lo scambio termico tra i fluidi termovettori (es. acqua calda o refrigerata) e gli ambienti interni dell'edificio, e quello dei componenti per la generazione dei fluidi stessi (es. caldaie, gruppi frigoriferi, ecc.).

L'incremento dell'efficienza energetica dei terminali di impianto per la climatizzazione (radiatori, pannelli radianti, convettori, ventilconvettori, travi fredde, componenti di impianti ad aria, ecc.) vede concentrarsi le innovazioni tecnologiche più recenti sui terminali a temperature moderate di funzionamento (acqua calda a bassa temperatura per i terminali di riscaldamento ed acqua refrigerata a temperatura moderata per i terminali preposti al raffrescamento) ai fini di incrementare le efficienze complessive del sistema energetico (in particolare, il rendimento exergetico) nonché sulle loro logiche di regolazione e controllo per il funzionamento dei terminali stessi, anche in relazione alle aspettative agli occupanti. Questo approccio tende a ridurre gli scostamenti dalle temperature imposte (quindi evitare situazioni di sovra-riscaldamenti e sotto-raffreddamenti) e dunque limitare il consumo energetico in esercizio, massimizzando al contempo le condizioni di comfort termoigrometrico per gli occupanti.

L'incremento dell'efficienza energetica nei sistemi di generazione dei fluidi termovettori ha visto recentemente una evoluzione significativa. L'innovazione è stata trainata dagli sviluppi normativi, in particolare dall'obbligo, a partire dal 1° gennaio 2019, che almeno il 50% della domanda energetica di ogni nuovo edificio (o sottoposto a ristrutturazione rilevante) per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria (ACS) sia coperta da fonti rinnovabili. Oggi, con il d.l. n. 199 dell'8 novembre 2021 tale quota è stata aumentata al 60% per edifici privati e 65% per edifici pubblici.

Per raggiungere gli obiettivi proposti da una legislazione sempre più esigente, le fonti rinnovabili tendono a ricoprire un ruolo sempre più importante nel progetto del sistema energetico di un edificio, in quanto la loro integrazione con sistemi di climatizzazione ad alta efficienza permette di rispettare gli obblighi normativi con particolare riferimento ai fabbisogni per riscaldamento e acqua calda sanitaria. Questo ha portato ad un'ampia diffusione sul mercato di sistemi basati su pompe di calore (a prescindere dal tipo di sorgente) in quanto capaci di recuperare parte del calore fornito agli ambienti interni da bacini di risorse naturali (aria esterna, acque superficiali, sotterranee, terreno) considerati, a partire dalla Direttiva 2009/28/CE⁷ come fonti rinnovabili di energia.

Come testimoniato dagli ultimi dati relativi al Superbonus 110% (fonte ENEA), le caldaie a condensazione, pur presentando un numero ancora significativo, rappresentano una piccola parte della potenza termica installata, con una potenza media nominale per caldaia a condensazione installata significativa (circa 32 kW) e con una netta prevalenza di installazioni in unità abitative indipendenti e edifici monofamiliari. Le pompe di calore a compressione di vapore ad azionamento elettrico, così come i sistemi ibridi pompa di calore-caldaia a condensazione hanno superato, in termini di potenza installata, quella delle caldaie a condensazione per edifici unifamiliari ed unità indipendenti. La tecnologia della caldaia a condensazione resta prevalentemente impiegata, in termini di potenza, negli edifici condominiali.

Al tempo stesso, l'innovazione nei sistemi di generazione a combustione ha visto la nascita di caldaie a condensazione combinate a pompe di calore, sistemi ibridi in grado di operare secondo l'una o l'altra forma di generazione per incrementare l'efficienza (in generale in modalità caldaia per temperature dell'aria inferiori a 3-4 °C e in modalità pompa di calore ad aria per temperature dell'aria superiori).

I sistemi ibridi rappresentano oltre il 48% delle nuove installazioni svolte a seguito del Superbonus 110%. Tuttavia, in una logica di decarbonizzazione completa del settore edilizio per le città net-zero-2030 (o in ogni caso al 2050), tali sistemi, che sono una buona opzione per ridurre da subito il consumo di combustibili fossili e diffondere l'impiego delle pompe di calore, rappresentano una soluzione transitoria.

Negli ultimi anni, in particolare nel settore residenziale, il raggiungimento della quota minima di copertura da fonti rinnovabili è stato certamente favorito da un fabbisogno molto limitato di energia per raffrescamento, poiché la maggioranza degli edifici residenziali non prevede, almeno nella fase di calcolo di progetto, l'installazione di sistemi per la climatizzazione estiva (al di là di una sua predisposizione). Tuttavia, come testimoniato dall'esperienza quotidiana, i fabbisogni per raffrescamento cresceranno in futuro sempre più anche in conseguenza del cambiamento climatico e del conseguente incremento delle temperature medie nei mesi estivi, così come di aspettative di comfort maggiori e questo porterà ad una massiva installazione di sistemi di raffrescamento anche negli edifici residenziali.

Per tali motivi, il tema del raffrescamento da fonte rinnovabile risulta essere di grande importanza e in questo ambito una tecnologia promettente, anche se ancora poco diffusa in ambito residenziale è il *solar cooling*⁸, ovvero l'abbinamento di una macchina frigorifera a pannelli solari termici

Sempre con riferimento alle tecnologie per la generazione dei fluidi energetici, le pompe di calore possono svolgere un ruolo centrale nel guidare la transizione verso l'adozione di soluzioni energetiche pulite, come previsto anche dall'*Energy Technology Perspectives* dell'IEA⁹, grazie al loro elevato livello di maturità tecnologica e alla conseguente possibilità di implementazione su larga scala nel breve termine, in particolare se alimentate da energia elettrica prodotta da fonte pulita.

Ciò è confermato anche da studi di scenario sulla progettazione di edifici a energia quasi zero in Europa¹⁰, che hanno evidenziato come la pompa di calore sia una tecnologia chiave per le soluzioni progettuali ottimali dal punto di vista dei costi degli edifici residenziali in tutte le zone climatiche che abbracciano i Paesi europei, soprattutto quelli dell'Europa meridionale.

Le pompe di calore possono estrarre energia da diverse fonti, tuttavia, le prestazioni delle pompe di calore a sorgente d'aria sono strettamente legate alle fluttuazioni della temperatura esterna. Come riferimento, comunque, le pompe di calore in commercio hanno efficienze indicativamente nel *range* di COP (Coefficiente di Prestazione) tra 3 e 5: conseguentemente 1 kWh di energia elettrica consumata produce tra 3 e 5 kWh termici per il riscaldamento. Parallelamente, caldaie tradizionali e a condensazione hanno rendimenti di conversione rispettivamente intorno indicativamente al 92% e 105%: conseguentemente 1 kWh di energia associata al combustibile consumato produce tra 0,92 e 1,05 kWh termici per il riscaldamento.

Alla luce di questo quadro, i potenziali benefici dell'utilizzo delle pompe di calore nel settore civile sono ampiamente riconosciuti e i più recenti scenari di sviluppo

sostenibile si basano in gran parte sul loro utilizzo¹¹. Tuttavia, recenti studi rivelano che l'incertezza nella stima delle prestazioni di questi sistemi in fase di progettazione può essere ancora elevata¹², portando così a un potenziale disallineamento tra le prestazioni previste (stimate in fase di progettazione) e quelle reali (misurate in fase di esercizio) dei sistemi e quindi dell'edificio nel suo complesso. In effetti, in fase di progettazione preliminare il processo decisionale si basa spesso su una stima dei costi energetici di esercizio sulla base dei valori di efficienza media di prestazione riportati nelle schede tecniche delle apparecchiature fornite dai produttori ma differenti da quelli che si potrebbero raggiungere in esercizio¹³.

La completa sostituzione in impianti termici esistenti, soprattutto in ambito residenziale, delle caldaie ai fini del riscaldamento e della produzione di acqua calda sanitaria potrà essere completata solo quando saranno disponibili e diffuse tecnologie affidabili per il raggiungimento di elevate temperature di produzione dell'acqua calda (circa 55 °C per l'acqua calda sanitaria e in funzione dei terminali negli impianti di riscaldamento ad acqua). Queste tecnologie cominciano a essere commercialmente disponibili anche per potenze termiche ridotte, grazie anche a nuovi fluidi refrigeranti, ma essendo giunte da poco sul mercato rappresentano per ora una quota marginale.

I sistemi energetici a servizio degli edifici tendono a diventare via via più multi-vettore (diversi vettori energetici e fonti di energia rinnovabili) e multi-convertitore (diverse tecnologie), per soddisfare con la massima efficienza gli usi finali di un edificio. Molta della letteratura attuale su questo tema si concentra sulle modalità di ottenimento di sistemi energetici affidabili anche in presenza di fonti rinnovabili ed efficienti attraverso l'integrazione dei convertitori energetici con adatti accumuli di energia¹⁴, sia di tipo termico che di tipo elettrico¹⁵.

Indipendentemente dalla destinazione d'uso, si assiste a un sistema energetico *all-electric* in cui il vettore energia elettrica è in grado di soddisfare tutti gli usi energetici degli edifici, compresi quelli termici, con efficienze più elevate. L'elettrificazione del riscaldamento degli edifici, se combinata alla realizzazione di nuova potenza elettrica rinnovabile, comporterà quindi un efficientamento complessivo del sistema energetico

Una nota a parte meritano gli edifici pubblici e collettivi (scuole, uffici, ospedali, ecc.) in cui vi sono ampi margini di miglioramento dell'efficienza energetica sia relativamente all'involucro edilizio sia ai sistemi impiantistici, in termini di miglioramento dell'efficienza di regolazione dei terminali di impianto e distribuzione dei fluidi termovettori.

Anche negli edifici storici, pur se vincolati ai sensi del codice dei beni culturali e del paesaggio, si sente l'esigenza di procedere, pur con tutte le attenzioni del caso, ad un efficientamento energetico nel rispetto del carattere culturale del bene. Gli interventi in tal caso dovranno essere guidati dai criteri di compatibilità (ricerca di precedenti impianti, materiali adatti ai materiali storici), reversibilità (in luogo di apertura di tracce murarie, preferenza per impianti a vista, fissi o mobili e la ricerca di cavedi, condotti nascosti o murati, già esistenti), minimo intervento e distinguibilità. La tematica è ormai oggetto di linee guida redatte sia da parte di associazioni di settore¹⁶ ed enti¹⁷ sia di vere e proprie norme tecniche¹⁸ che è necessario seguire, pur nella consapevolezza che in questo caso ogni oggetto di studio sia un caso a sé.

Tra gli interventi necessariamente da codificare, una particolare attenzione va indirizzata alla installazione di tecnologie fotovoltaiche nei centri storici, tema essenziale per aumentare i tassi di auto-produzione energetica anche in questi contesti urbani.

Best practices e innovazione

Come delineato nei paragrafi precedenti, la decarbonizzazione di un'entità complessa come un edificio può solamente derivare dall'integrazione ottimale di molteplici strategie in grado di agire sinergicamente prima di tutto sulla riduzione del fabbisogno energetico e poi sulla massimizzazione dell'efficienza di tecnologie e sistemi impiantistici che possano integrarsi in modo ottimale con energia prodotta da fonti rinnovabili. Tale concetto è riflesso nella definizione di **edificio a energia "quasi zero" o NZEB** (*Nearly Zero Energy Building*), introdotto a livello europeo nel 2010¹⁹ come "edificio ad altissima prestazione energetica in cui il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ" e diventato realtà con il recepimento della Direttiva che ha previsto l'introduzione dell'obbligo di raggiungimento del target NZEB per tutti gli edifici pubblici (a partire dal 31/12/2018) e privati (a partire dal 1/1/2021) di nuova costruzione e/o sottoposti a ristrutturazione rilevante²⁰.

L'introduzione di questi concetti, poi riflessi a livello normativo, ha influenzato il mercato delle costruzioni che ha visto la quota di NZEB sul mercato totale delle costruzioni aumentare in modo costante (dal 14% nel 2012 al 20% in media nel 2016²¹, in base ai dati disponibili, e si può immaginare che il trend sia ulteriormente cresciuto negli anni più recenti con l'entrata in vigore dei requisiti NZEB prima ricordati). A livello europeo, l'Italia detiene il primato per edifici NZEB risultanti da interventi di ristrutturazione importante di edifici esistenti (circa l'80% del totale)²².

Differentemente da precedenti protocolli e standard per edifici ad alte prestazioni, come ad esempio la *Passivhaus* tedesca che pone enfasi sulla riduzione della domanda energetica al di sotto di soglie quantitative prestabilite^D, il concetto di NZEB integra tutti e tre gli aspetti (riduzione della domanda, efficienza dei sistemi, fonti rinnovabili) ed è definito in modo qualitativo, tenendo conto del fatto che ogni edificio rappresenta un'entità complessa che si relaziona con un particolare contesto ambientale e socio-economico su scala locale ed è pertanto difficile definire una "ricetta" quantitativa sempre valida, lasciando quindi spazio all'innovazione tecnologica e alla conseguente evoluzione del mercato. Infatti, se è vero che la definizione a livello nazionale di requisiti minimi prestazionali non solo per i singoli componenti ma anche per l'intero sistema edificio hanno incominciato ad orientare la progettazione, portando a definire un concetto di NZEB calato sul particolare contesto nazionale^E, ciascun processo progettuale si configura come un diverso problema di ottimizzazione dove un ruolo chiave nella scelta tra le diverse soluzioni tecnologiche

^D il fabbisogno netto per riscaldamento - e per raffrescamento, se previsto - non può superare i 15 kWh/m² anno, mentre il limite massimo per il consumo totale di energia primaria è fissato a 120 kWh/m² anno.

^E In Italia il DM "requisiti minimi" del 26 giugno 2015 definisce i requisiti minimi da rispettare per il progetto di NZEB, che devono essere aggiornati ogni cinque anni come da linee guida europee seguendo la metodologia *cost-optimal* su edifici di riferimento in contesto italiano. Oggi sono posti dei limiti di trasmittanza energetica delle strutture edilizie che variano da 0,4 kWh/m²K per una chiusura verticale in zona climatica A a 0,22 kWh/m²K per una copertura in zona climatica F, dei limiti minimi di efficienza per ciascuna tipologia di impianto tecnico e un minimo del 60% di copertura del fabbisogno da fonti rinnovabili, con piccole differenze a seconda della tipologia di intervento.

è giocato da fattori economici in un'ottica di ricerca della soluzione che permetta il raggiungimento dell'**ottimalità di costo**²³, già introdotta nel paragrafo 3.1.1 a cui si rimanda.

La soluzione di efficientamento ottimale per l'investitore corrisponde quindi al punto più in basso della curva "cost-optimal" e rappresenta una combinazione di tecnologie di involucro, impianti e fonti rinnovabili che lavorino sinergicamente per migliorare la prestazione dell'edificio sia in termini tecnici che di sostenibilità economica, fissando il "quasi" della definizione di NZEB al livello di prestazione energetica che è ottimale dal punto di vista dei costi. A livello di *policy making* invece si dovrà lavorare con strategie di incentivazione che permettano di agire su quel costo aggiuntivo indicato in figura e quindi di spostare il livello di costo-ottimale sempre più verso sinistra nel grafico, cioè verso il target di energia netta zero (nZEB - *net Zero Energy Building*) corrispondente ad una completa decarbonizzazione.

Nelle sue raccomandazioni per la promozione degli edifici a energia quasi zero²⁴, la Commissione europea ha pubblicato delle soglie di riferimento per l'energia primaria totale, differenziate per zone climatiche e tipologia edilizia^F.

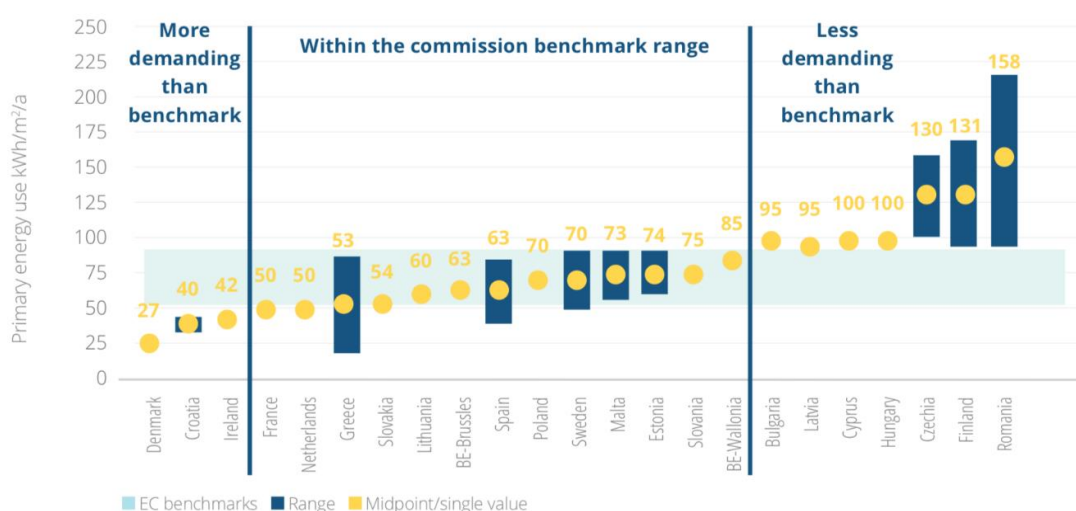


Figura 6: Requisiti minimi di prestazione energetica per gli nZEB in relazione al benchmark di riferimento nei diversi Stati europei al 2021. Valori in kWh/m² per anno per case unifamiliari nell'UE²⁵.

Come si può vedere dalla Figura 6, riferita a livello di esempio alla tipologia di casa unifamiliare, si nota come i requisiti minimi di prestazione posti dai diversi Stati europei, considerando la metodologia *cost-optimal*, siano in molti casi coerenti con le soglie di riferimento indicate dalla Commissione, di fatto mostrando i casi in cui sia stato possibile l'avvicinamento dei livelli di costo ottimale al target NZEB ed evidenziando i contesti in cui siano necessari ulteriori politiche di incentivazione.

L'Italia, come altri Stati, non può essere inclusa nel confronto in quanto finora non ha specificato valori o intervalli di kWh/m²* anno per la prestazione energetica come

^F Per la tipologia base di casa unifamiliare, l'intervallo di riferimento è 50-90 kWh/m²*anno con una percentuale di copertura da fonti rinnovabili, che varia da 32% nella zona climatica nordica al 50% della zona continentale fino all'87% delle zone mediterranee, e soglie leggermente superiori sono indicate per la tipologia ufficio, dove il *range* di riferimento per l'energia primaria totale è 80-100 kWh/m²*anno con copertura da rinnovabili tra il 32% e il 71%.

parte dei requisiti NZEB, ma, come già riportato, ha preferito un approccio basato sulla specificazione di livelli di prestazione, calcolati rispetto a edifici di riferimento calati sul contesto particolare di ciascun progetto, in relazione alla tipologia dell'edificio e dell'intervento, la geometria, la regione climatica. Alcuni lavori di sintesi di casi studio analizzati in contesto italiano hanno evidenziato come i livelli medi di prestazione energetica degli NZEB siano sostanzialmente riconducibili ai *benchmark* di riferimento europei, variando tra 45 kWh/m²* anno per edifici residenziali monofamiliari e 110 kWh/m²* anno per gli uffici^G, con una copertura da fonti rinnovabili pari al 50%. È interessante notare come gli studi abbiano evidenziato che il gap tra i livelli di costo ottimale e i livelli NZEB sia ormai azzerato per la tipologia residenziale unifamiliare. Tuttavia, si evidenzia come nel caso di tipologie edilizie come il residenziale multifamiliare e gli uffici, permanga una differenza positiva tra il livello di costo ottimale e il target NZEB, quantificabile tra il 10% e il 50%²⁶.

Sebbene i risultati sopra riportati possano subire importanti modifiche in seguito alle recenti turbolenze del mercato, è chiaro come la combinazione dell'applicazione massiva di un approccio progettuale basato sui livelli di costo ottimale, supportato da un'adeguata conduzione di politiche attive a livello centrale, ha il potenziale di riplasmare il mercato verso una maggiore sostenibilità economica delle soluzioni tecnologiche più performanti con conseguente accelerazione del processo di decarbonizzazione. Infatti, come evidenziato nella recente IEA *Energy Technology Perspectives 2020*²⁷, si ha chiara evidenza di come le tecnologie per la decarbonizzazione del settore edilizio abbiano un grado di *readiness to market* elevato o siano già oggi disponibili.

Nel più recente Rapporto IEA "Net Zero by 2050" già citato, lo scenario di decarbonizzazione prevede che l'abbattimento del 95% delle emissioni degli edifici al 2050 risulti dal dispiegamento di soluzioni che sono già oggi disponibili sul mercato e siano non lontane dai livelli di costo ottimale, sia per quanto riguarda l'involucro edilizio (materiali isolanti e serramenti ad alte prestazioni sia per l'isolamento termico che per il controllo solare) che gli impianti (pompe di calore in tutte le forme disponibili per un utilizzo ottimale in climi e tipologie edilizie differenti, oltre che per l'integrazione con diverse fonti di energia rinnovabile – solare, geotermica, calore di scarto...). L'innovazione richiesta sarà principalmente da indirizzare verso un adattamento delle "condizioni al contorno", quali l'aggiornamento delle conoscenze e competenze dei professionisti, l'adeguamento degli strumenti di calcolo e valutazione a supporto alla progettazione, e l'adeguamento delle reti di distribuzione dell'energia a scala urbana.

Il tema dell'aggiornamento dei professionisti è di importanza cardinale, in quanto è tramite il professionista che l'innovazione può diffondersi. È necessario però essere consapevoli che i *bias* comportamentali descritti nel capitolo 6 possono anche essere attribuibili ai tecnici, che talvolta restii all'innovazione, potrebbero preferire la riproposizione di schemi abituali e ben collaudati.

Tra le questioni più rilevanti si evidenziano alcune sfide aperte, pur considerando le specificità di ciascun contesto urbano, che potranno essere affrontate con l'ulteriore sviluppo di tecnologie innovative:

^G Valori medi tra le 6 diverse zone climatiche italiane.

- l'allargamento della prospettiva dalla riduzione della domanda energetica in esercizio alla domanda energetica totale, inclusiva della quota di energia inglobata (*embodied energy*), al fine di promuovere l'utilizzo di materiali locali che aiutino a sostenere la decarbonizzazione anche dell'industria dei materiali da costruzione;
- la necessità di conciliazione delle esigenze tecnologiche di efficientamento di edifici con l'alto valore storico del patrimonio edilizio delle nostre città da preservare (sviluppo di materiali isolanti a basso spessore per installazione all'interno, involucri intelligenti, tecnologie fotovoltaiche con alti livelli di integrazione architettonica...);
- il passaggio concettuale e progettuale dalla scala di edificio (target NZEB) alla scala di distretto (target NZED) ha ragioni razionali nella soluzione di alcune criticità, come la regolarizzazione del profilo di domanda energetica e la riduzione dei picchi con conseguente migliore integrazione con la dinamica delle fonti rinnovabili.

L'applicazione standardizzata dell'approccio costo-ottimale a più livelli può supportare l'individuazione della combinazione ottimale di tecnologie da implementare in ciascun contesto particolare e supportare l'innovazione, eventualmente allargandone la prospettiva a un'analisi costi-benefici che possa includere nelle analisi ulteriori esternalità, tra cui l'aumento di valore di mercato di un bene a seguito dell'efficientamento energetico, gli effetti positivi sulla salute dell'occupante indotti dall'utilizzo di tecnologie efficienti per il miglioramento della qualità dell'aria, il mantenimento di alti livelli di comfort all'interno dell'edificio stesso.

Infine, tra le succitate sfide aperte, occorre aggiungere la necessità di rafforzare il percorso di crescita culturale di tutta la filiera del settore affinché tutti gli attori della filiera stessa (dalle aziende produttrici dai progettisti, dagli installatori alle maestranze di cantiere) promuovano e siano preparati a sostenere nel dialogo con la committenza e l'utente finale l'introduzione dell'innovazione tecnologica sul mercato.

Materiali da costruzione ed emissioni climalteranti

Esaminando ora gli aspetti strutturali della costruzione, è opportuno ricordare che il patrimonio edilizio dei centri urbani italiani è caratterizzato prevalentemente da strutture in muratura portante (in prevalenza edifici storici o comunque costruiti prima del 1930 circa) e da strutture in calcestruzzo armato, che spesso necessitano interventi di ristrutturazione/rifacimento, per i quali è necessario effettuare l'ulteriore distinzione tra edifici storici ed edifici più moderni.

I primi possono essere soggetti a particolari vincoli (più o meno stringenti, che possono precludere l'impiego di alcune soluzioni) e richiedono un'ulteriore attenzione nell'impiego di nuovi materiali, che devono garantire non solo la durabilità (requisito essenziale per ogni intervento) ma anche la scarsa invasività e se possibile la reversibilità.

Le materie prime e i materiali utilizzati sia per interventi di recupero edilizio sia per nuove costruzioni sono generalmente caratterizzate da una scarsa sostenibilità ambientale. In particolare, tra questi spicca il calcestruzzo a cui viene attribuito circa il 7% delle emissioni totali di CO₂ a livello mondiale²⁸.

In generale, per ridurre l'impatto ambientale nella produzione dei materiali da costruzione si dovrebbero perseguire tre strategie:

- riduzione del consumo di energia nella produzione dei materiali;
- riduzione delle emissioni inquinanti;
- riduzione del consumo di risorse naturali.

Ulteriori strategie che consentono di ridurre la domanda sono legate all'ottimizzazione della progettazione (sia per le nuove costruzioni e per quelle esistenti), riducendo la richiesta di materia prima, e all'impiego di materiali locali (con conseguenti minori emissioni legate al trasporto). Inoltre, ove possibile, è opportuno anche scegliere materiali che presentino proprietà aggiuntive a quelle meramente strutturali e che consentano di ridurre la domanda/migliorare l'ambiente (isolanti, con funzione di abbattimento degli inquinanti, con colorazioni che riducano l'effetto "isola di calore")²⁹.

Appare evidente che a seconda del materiale utilizzato le strategie da perseguire sono diverse.

Per quanto riguarda gli edifici di nuova costruzione vi è innanzitutto da segnalare la necessità di procedere con un approccio globale di progettazione che tenga conto di tutto il ciclo di vita della costruzione (dalla fase di costruzione, all'esercizio alla dismissione). In questo senso, l'approccio BIM (*Building Information Modeling*) risulta un utile strumento. È da segnalare che una caratteristica fondamentale delle nuove costruzioni è quella della durabilità, che non solo consente ridotti interventi di manutenzione ma non richiede neppure l'utilizzo di ulteriore materiale per interventi di ripristino.

Il calcestruzzo

Nelle nuove costruzioni il calcestruzzo risulta ancora il materiale più utilizzato, per la sua economicità, durabilità e capacità di adattarsi a qualsiasi forma, consentendo di realizzare manufatti in accordo con le più svariate esigenze architettoniche.

Il calcestruzzo è costituito da una miscela di cemento, aggregati e acqua, con l'eventuale aggiunta di additivi che ne migliorano le prestazioni (superfluidificanti, antiritiro...). Le tre componenti principali del calcestruzzo non derivano pertanto da fonti rinnovabili, anche se proprio la complessità di questo materiale consente diverse azioni mirate a migliorare la sostenibilità di tutta la filiera. La componente emissiva principale è nella produzione del cemento, in quanto nel processo di calcinazione della roccia carbonatica ad alta temperatura per la produzione del *klinker* viene rilasciata CO₂ presente nel minerale.

Negli ultimi anni diverse azioni sono state intraprese per ridurre l'impatto ambientale delle opere in calcestruzzo armato³⁰.

In primo luogo, si può operare su due livelli diversi:

- I. progettazione;
- II. definizione della composizione del calcestruzzo/scelta del processo di produzione.

Una buona strategia per aumentare la sostenibilità del calcestruzzo è quella di scegliere un *mix-design* caratterizzato da proprietà che consentano di ottimizzare la

progettazione l'elemento strutturale (ad es. in edifici alti l'impiego di calcestruzzo ad alta resistenza consente di ridurre la sezione dei pilastri, con conseguente minor impiego di materie prime, cassetta, ecc.).

A livello di composizione del calcestruzzo / realizzazione di strutture in calcestruzzo armato si possono individuare diverse misure che consentono di migliorare la sostenibilità:

- ridurre l'impatto ambientale delle materie prime: leganti, aggregati, acqua e acciaio di rinforzo;
- migliorare i processi di produzione (estrazione, trasporto, produzione di energia, macinazione);
- migliorare i processi di miscelazione/produzione, con impianti in sito;
- privilegiare l'impiego di calcestruzzi autocompattanti che riducono l'inquinamento acustico e non necessitano di energia per la compattazione.

La sostituzione parziale del cemento con altri leganti, in particolare con sottoprodotti industriali come ceneri volanti, loppa d'altoforno e fumo di silice è già parte dei processi di produzione del cemento ed è in grado – con aggiunta di appropriati additivi – di migliorare anche le proprietà meccaniche del prodotto finale. Sebbene le norme europee del calcestruzzo UNI-EN-206-1:2022³¹ impongano limiti tecnici alla quantità di altri leganti sostitutivi, questi permettono comunque un significativo risparmio emissivo. Un'azione fondamentale nella filiera del calcestruzzo è anche connessa alla scelta delle sabbie e degli aggregati (spesso questo è legata alla locale disponibilità degli stessi). Sebbene l'impatto ambientale degli aggregati sia decisamente modesto rispetto a quello del legante, occorre tener presente che gli aggregati non sono rinnovabili e possono essere sostituiti con materiali di riciclo. In questo ambito esistono numerose raccomandazioni e prescrizioni a livello normativo, sia italiano che internazionale. Recentemente (agosto 2022) sono state anche aggiornate le prescrizioni per i criteri CAM Edilizia che indicano chiaramente le percentuali di materiali utilizzabili per ottenere calcestruzzi a maggiore sostenibilità ambientale.

Diverse esperienze hanno mostrato buoni risultati di applicazioni con riciclo di demolizioni di calcestruzzo/muratura, gomma, pneumatici stradali e plastica. Spesso questi aggregati presentano buone prestazioni in termini di isolamento termico³². Per migliorare l'impatto ambientale si dovrà tener conto anche della logistica per diminuire l'impatto del trasporto.

L'industria del cemento punta molto sui processi di cattura e sequestro del carbonio dai fumi che, a parte notevoli costi operativi, presentano limiti di cattura del carbonio che raramente, se non giungendo a costi eccessivi, sono in grado di assicurare la rimozione di più del 70% della CO₂ emessa. Peraltro, è anche utile mettere in evidenza, come da tempi recenti calcolato anche dall'IPCC e dal Global Carbon Project³³, i manufatti in calcestruzzo negli anni ricatturano fino al 30% della CO₂ emessa in fase di produzione per via di un processo naturale di ri-carbonatazione che interessa gli strati superficiali esposti all'atmosfera.

Tuttavia, questo fenomeno naturale deve essere opportunamente monitorato e non favorito perché, qualora lo strato di calcestruzzo ri-carbonatato raggiungesse le barre d'armatura si innescherebbero pericolosi fenomeni di corrosione.

L'acciaio

L'acciaio richiede un alto quantitativo di energia per la sua produzione ma al tempo stesso è un materiale totalmente riciclabile: pertanto, qualora le fonti di energia per la sua produzione fossero rinnovabili potrebbe essere considerato un materiale potenzialmente sostenibile.

Le emissioni di CO₂ nel processo di produzione dell'acciaio primario sono principalmente connesse all'utilizzo di carbone *coke* come agente riducente del minerale negli altoforni. Per la decarbonizzazione di questo processo sono in corso diverse sperimentazioni, alcune delle quali già in fase pilota, che fanno uso di idrogeno prodotto da fonti rinnovabili di energia per elettrolisi dell'acqua per il processo di riduzione del minerale. Il successo della fase pilota potrà portare a processi in piena scala nel giro della prossima decade, che avranno però bisogno di grandi disponibilità di energia rinnovabile a costo molto basso. Il costo finale del prodotto sarà però superiore a quello attuale di mercato, invaso da prodotti che non pagano tasse sul carbonio, e andrà protetto con tasse sul carbonio alla frontiera come il CBAM (*Carbon Border Adjustment Mechanism*) attualmente in discussione nel *Fit for 55*.

La produzione di acciaio da riciclo di rottami di ferro è negli impianti più moderni condotto in forni elettrici – settore nel quale alcune aziende italiane possono vantare una *leadership* tecnologica -, che possono essere alimentati da energia rinnovabile e quindi decarbonizzabili più facilmente. Purtroppo, l'acciaio da rottami può coprire soltanto una parte degli utilizzi, sia per ragioni quantitative, sia per ragioni tecniche legate ai diversi usi.

Il legno

Un materiale a cui viene associata una connotazione di sostenibilità è il legno, in quanto proveniente da fonti rinnovabili. Materiale privilegiato per la sua leggerezza, può considerarsi il materiale da costruzione che ha un minor impatto ambientale.

Tuttavia, il suo impiego in nuove costruzioni fino a qualche decennio fa era limitato ad alcune regioni geografiche e a piccole costruzioni. Grazie all'avvento del legno lamellare e di una serie di prodotti derivati dal legno (ad es. pannelli X-Lam^H) anche questo materiale ha trovato più ampio impiego, soprattutto per le nuove costruzioni, anche in elevazione. Certamente è ormai il materiale più utilizzato per strutture sportive di grande luce (es. palazzetti dello sport), ma viene sempre più considerato anche per edifici multipiano³⁴.

Le più innovative tipologie di costruzione in legno hanno già permesso di realizzare edifici di oltre 80 metri di altezza come il Mjøstårnet vicino a Oslo o il HoHo Wien a Vienna.

^H X-LAM, o CLT (*Cross Laminated Timber*), è una tecnologia costruttiva inizialmente sviluppata negli anni '90 presso l'Università tecnica di Graz, in Austria, che si basa sull'utilizzo di pannelli di legno massiccio multistrato incollati e disposti perpendicolarmente tra di loro rispetto alle venature, in modo da ottenere una migliore rigidità in ogni direzione. I pannelli prefabbricati hanno funzione portante e consentono la realizzazione di edifici multipiano altamente isolati e relativamente più leggeri degli equivalenti edifici tradizionali.

Considerando il fatto che la decarbonizzazione della produzione di cemento e acciaio potrebbe impattare notevolmente sotto il profilo dei costi dei prodotti finiti, ciò potrebbe rendere più appetibile la sostituzione di questi materiali con altri, come il legno ingegnerizzato, di cui si prevede un impiego crescente.

Materiali per la manutenzione e le ristrutturazioni

Durante la fase di esercizio degli edifici spesso sono necessari interventi di manutenzione, miglioramento o adeguamento strutturale. Per quanto riguarda gli interventi a livello strutturale i materiali che risultano più vantaggiosi sono l'acciaio e il legno (per l'elevato rapporto tra resistenza e peso); il calcestruzzo viene invece utilizzato marginalmente per interventi specifici (incamiciature di pilastri in c.a., getti di completamento di solette collaboranti).

È opportuno poi distinguere tra interventi strutturali, che richiedono investimenti e tempistiche più rilevanti (ad esempio, l'efficientamento degli impianti), e interventi a breve termine, che grazie all'ottimizzazione della progettazione e dei materiali selezionati comportano un'immediata riduzione dell'impatto. In generale, l'ottimizzazione dell'intera filiera può migliorare decisamente l'impatto ambientale di tutti i materiali da costruzione.

Reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento

La pianificazione ottimale dei sistemi energetici territoriali è un problema complesso. La razionalizzazione dei fabbisogni di calore per il riscaldamento è possibile, da una parte, grazie ad una riduzione del fabbisogno di energia, e dall'altra, tramite una produzione energetica più sostenibile. Come sottolineato in letteratura³⁵, la progettazione e costruzione di edifici sempre più efficienti può non essere sufficiente per contenere i consumi energetici globali; questo è anche dimostrato dal crescente aumento del fabbisogno di raffrescamento da parte degli edifici degli ultimi anni, causato dalla crescita delle temperature esterne, come conseguenza del cambiamento climatico. In questo contesto, il teleriscaldamento gioca un ruolo chiave ed è identificato come una possibile traiettoria a supporto della decarbonizzazione del vettore termico. Infatti, la realizzazione di reti di teleriscaldamento efficienti può portare a benefici significativi in termini di aumento dell'efficienza energetica e riduzione dell'inquinamento³⁶, oltre a generare ricadute positive sul territorio e sulla comunità. In una recentissima nota, il GSE³⁷ riporta che a fine 2020, in Italia, risultavano in esercizio 337 reti di teleriscaldamento, con un'estensione di circa 5000 km, coinvolgendo circa 284 territori comunali, prevalentemente nel nord e centro Italia. La volumetria complessivamente riscaldata è pari a 386,3 milioni di m³, di cui il 63% è associata a utenze residenziali, 34% al terziario e il restante 3% a utenze industriali, ed è principalmente concentrata in Lombardia, Piemonte, Emilia-Romagna e nel territorio provinciale di Bolzano.

I sistemi più tradizionali di teleriscaldamento, basati sulla generazione centralizzata di energia termica e sulla distribuzione verso le utenze tramite apposite reti, sono presenti da tempo nel panorama energetico. Nel corso degli anni, si è assistito ad un'evoluzione del teleriscaldamento, con l'obiettivo di abbassare le temperature del fluido termovettore nelle reti per ridurre le perdite di distribuzione e di integrare tecnologie emergenti più pulite. Questa tendenza ha portato a diverse generazioni di tecnologie e di architetture di sistema di teleriscaldamento adottate nel corso degli

anni, che sono riassunte nella Tabella 17, insieme ad alcune delle loro principali caratteristiche.

GENERAZIONE	FLUIDO TERMOVETTORE	TEMPERATURA	FONTI DI PRODUZIONE
Teleriscaldamento di prima generazione (1GDH)	Vapore	<200°C	<ul style="list-style-type: none"> • Centrali a carbone • Stoccaggio di vapore
Teleriscaldamento di seconda generazione (2GDH)	Acqua calda surriscaldata	>100°C	<ul style="list-style-type: none"> • Impianti di cogenerazione a carbone o olio combustibile • Accumulo termico ad alta temperatura
Teleriscaldamento di terza generazione (3GDH)	Acqua calda surriscaldata	~100°C	<ul style="list-style-type: none"> • Impianti di cogenerazione a carbone, olio combustibile o biomasse • Calore residuo di processi industriali • Gas
Teleriscaldamento di quarta generazione (4GDH)	Acqua a bassa temperatura	50-80°C	<ul style="list-style-type: none"> • Calore residuo di impianti CHP, carbone ed olio combustibile • Gas, olio combustibile, carbone • Calore residuo da processi industriali • Accumulo termico • Fonti geotermiche • Solare termico su larga scala • Acqua calda tramite pompe di calore ad alta temperatura
Teleriscaldamento e teleraffrescamento di quinta generazione (5GDHC)	Acqua a bassa temperatura	<30°C	<ul style="list-style-type: none"> • Acqua tramite pompe di calore decentralizzate nelle sottostazioni • Calore residuo • Accumulo termico

Tabella 17: Descrizione delle generazioni di teleriscaldamento (e raffrescamento) e delle loro principali caratteristiche. Rielaborazione da letteratura³⁸.

Uno dei più grandi sistemi di teleriscaldamento in Italia è rappresentato dall'area metropolitana di Torino, in Piemonte. Secondo dati del Gruppo Iren³⁹, alla rete sono allacciati 72,3 milioni di m³, servendo circa 650.000 abitanti, per 1930 MW_t e 1200 MW_e di potenza installata. La maggior parte dell'energia immessa in rete viene prodotta tramite impianti di cogenerazione, mentre la quota restante di energia termica viene prodotta con caldaie di integrazione e recupero. Un altro esempio italiano di rilievo è quello di Brescia; i dati del 2020 forniti da A2A⁴⁰ riportano una rete con 42,6 milioni di m³ riscaldati, per un totale di 678 km di rete.

A partire dal 2010, gli impianti di teleriscaldamento di quarta generazione (4GDH) evolvono verso temperature del fluido termovettore più basse (50-80°C), che permettono di ridurre ulteriormente le perdite di calore lungo la rete di distribuzione e consentono l'integrazione diretta con le fonti rinnovabili tramite l'uso della geotermia, di pompe di calore ad acqua ad alta temperatura e del solare termico su larga scala. L'utilizzo di queste fonti di produzione cambia anche il ruolo dell'utente finale, che può diventare partecipante attivo del sistema integrando la propria

produzione di calore (es. tramite pannelli solari) nella rete. Infine, con la quinta generazione si cambiano non soltanto le fonti utilizzate lato generazione, ma anche la struttura della rete di teleriscaldamento e i servizi che è possibile soddisfare; viene sfruttata acqua a bassa temperatura (<30°C) come fluido termovettore e diventa possibile soddisfare anche il carico di raffrescamento delle utenze finali, introducendo il concetto di teleriscaldamento e teleraffrescamento di quinta generazione (5GDHC). Nelle configurazioni di 5GDHC, l'architettura della rete evolve da centralizzata, con un impianto centrale di alimentazione, a decentralizzata, con pompe di calore ad acqua dislocate nelle sottostazioni delle utenze. Grazie all'uso di queste tecnologie reversibili, la rete può funzionare da fonte di calore a bassa temperatura per le pompe di calore, quando è necessario il servizio di riscaldamento, o al contrario da pozzo, quando si deve raffrescare ed estrarre calore dalle utenze. Riducendo la temperatura del fluido nelle reti, è possibile diminuirne le perdite di distribuzione, ma anche incrementare l'efficienza delle pompe di calore utilizzate. Inoltre, il ricorso alle pompe di calore contribuisce all'elettrificazione della rete termica, consentendo di sfruttare ulteriormente le fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica. L'interesse europeo verso la tecnologia 5GDHC è evidenziato dai progetti in atto. Le prime applicazioni riguardano reti di nuova generazione a servizio di singoli utenti e progetti pilota di reti condivise tra più utenti, in ottica di supportare la sperimentazione di reti a più larga scala. Buffa et al.⁴¹ hanno effettuato un'indagine statistica di 40 5GDHC in esercizio in Europa, tra cui impianti in Italia, Germania, Svizzera, Olanda, Belgio, Inghilterra e Norvegia (circa il 75% degli impianti in oggetto sono localizzati in Germania e Svizzera). I diversi sistemi sono stati classificati sulla base della fonte di energia utilizzata, delle temperature in gioco, delle efficienze e delle capacità installata; quest'ultima è compresa tra 0,1 MW e 10 MW, e il 71% degli impianti 5GDHC analizzati presenta una potenza installata inferiore a 3 MW.

Le nuove architetture di reti di teleriscaldamento permettono quindi l'integrazione di fonti di energia flessibili e pulite nel mix energetico, risolvendo i limiti che la loro introduzione potrebbe avere a livello di singoli edifici, soprattutto nei contesti urbani³⁶. È chiaro, però, che la diffusione di configurazioni di teleriscaldamento a bassa temperatura deve essere abbinata a maggiori interventi a livello delle utenze, dal momento che la fornitura di calore a bassa temperatura è sicuramente compatibile con edifici ad alta prestazione energetica.

In un'ottica di pianificazione urbana, è importante sottolineare che le reti a bassa temperatura (4GDH e 5GDHC) hanno ormai preso il posto delle prime generazioni di teleriscaldamento, escludendo i contesti in cui queste reti siano già ampiamente diffuse. Nello specifico, la quarta generazione, che riesce a integrare le fonti rinnovabili per la produzione di calore, e la quinta generazione, capace di soddisfare anche i fabbisogni di raffrescamento, sono le soluzioni più indicate in caso di nuova pianificazione o riqualificazione delle reti già esistenti. Tra le motivazioni che spingono verso un cambiamento nel modo in cui le reti vengono costruite e gestite è la possibilità di decentralizzare la produzione energetica, rendendo gli utenti parte attiva della catena energetica, in linea con il concetto di generazione distribuita del settore elettrico.

I sistemi di teleraffrescamento, sebbene meno diffusi rispetto a quelli di teleriscaldamento, si stanno progressivamente sviluppando in Italia, utilizzando infrastrutture esistenti; il GSE³⁷, infatti, segnala che "tutti i sistemi di teleraffrescamento in esercizio in Italia sono associati a sistemi di teleriscaldamento". In Italia, secondo il rapporto del GSE, a fine 2020, risultavano in

esercizio 30 reti di teleraffrescamento, con un'estensione di circa 32,5 km, coinvolgendo 27 Comuni, prevalentemente nel Centro e Nord Italia. La volumetria raffrescata si attesta intorno agli 8,9 milioni di m³ ed è prevalentemente dedicata al settore terziario.

La realizzazione di reti di teleriscaldamento di nuova generazione o l'ammodernamento di reti esistenti (fondamentale per ridurre le perdite e le inefficienze e per garantire la transizione verso sistemi di nuova generazione) richiede investimenti significativi e pertanto deve essere supportato da adeguate strategie a livello pianificatorio, nazionale e locale. Pertanto, nell'ottica di città sempre più moderne, al passo con le tecnologie e i sistemi di produzione efficienti e all'avanguardia, non è più sufficiente la scelta tecnologica del singolo cittadino, ma è necessaria una strategia di pianificazione urbana a più ampio respiro.

¹ International Energy Agency (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. Paris. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

² Buildings Performance Institute Europe (2022). EU buildings climate tracker: urgency to close the buildings decarbonisation gap. https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2022/06/BPIE_EU-Buildings-Climate-Tracker_Final.pdf

³ Barthelmes V.M., Becchio C., Fabi V., Corgnati S.P. "Occupant behaviour lifestyles and effects on building energy use: investigation on high and low performing building features". In Energy Procedia 140 (2017) 93-101.

⁴ Enea (2021). L'efficienza Energetica E L'utilizzo Delle Fonti Rinnovabili Negli Edifici Esistenti. <https://www.pubblicazioni.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=459&catid=8&m=0&Itemid=101>

⁵ <https://www.anima.it/associazioni/elenco/assoclimate/media/news/tutte-le-news/climatizzazione-in-buona-salute.kl>

⁶ V. Monetti et al., Impact of low investment strategies for space heating control: application of thermostatic radiators valves to an old residential building, Energy and Buildings, ISSN 0378-7788, vol. 95 (2015), pp. 202-210. Doi: 10.1016/j.enbuild.2015.01.001.

⁷ Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, ora sostituita dalla Direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

⁸ M. Bilardo, M. Ferrara, E. Fabrizio, Performance assessment and optimization of a solar cooling system to satisfy Renewable Energy Ratio (RER) requirements in multi-family buildings, Renewable Energy, ISSN 0960-1481, vol. 155 (2020), pp. 990-1008. Doi: 10.1016/j.renene.2020.03.044.

⁹ IEA, Energy technology perspectives. Da: <https://www.iea.org/topics/energy-technology-perspectives>

¹⁰ M. Ferrara, F. Fabrizio, Cost-optimal nZEBs in future climate scenarios, Energy Procedia 122 (2017) 877-882, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.377>.

¹¹ J. Epting, M.H. Müller, D. Genske, P. Huggenberger, Relating groundwater heat-potential to city-scale heat-demand: a theoretical consideration for urban groundwater resource management, Appl. Energy 228 (2018) 1499-1505, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.154>

¹² Y. Zhang, N. Akkurt, J. Yuan, Z. Xiao, Q. Wang, W. Gang, Study on model uncertainty of water source heat pump and impact on decision making, Energy Build. 216 (2020), 109950, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109950>.

¹³ A. Biglia, M. Ferrara, E. Fabrizio, On the real performance of groundwater heat pumps: Experimental evidence from a residential district, Applied Thermal Engineering, 192 (2021) 116887, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116887>

¹⁴ F. Nasiri et al., Data Analytics and Information Technologies for Smart Energy Storage Systems: A State-of-the-Art Review, Sustainable Cities and Society, vol.84, September 2022, 104004

¹⁵ A. Amato, et al., Energy evaluation of a PV-based test facility for assessing future self-sufficient buildings, Energies, ISSN 1996-1073, vol. 14, n° 2 (2021), 329, Doi: 10.3390/en14020329.

¹⁶ Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione (AiCARR). Linee guida sull'Efficienza Energetica negli Edifici Storici, 2014, Delfino Editore.

¹⁷ M. Morandotti, et al. Studio, sviluppo e definizione di linee guida per interventi di miglioramento per l'efficienza energetica negli edifici di pregio e per la gestione efficiente del sistema edificio-impianto. Report «Ricerca di Sistema Elettrico» ENEA - MiSE, RdS/2011/63.

¹⁸ UNI EN 16883 Conservazione dei beni culturali. Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici.

-
- ¹⁹ Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD Recast), Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea (2010).
- ²⁰ D. Lgs. 28/11 e DM "requisiti minimi" 26/06/2015.
- ²¹ European Commission, Directorate-General for Energy, Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU: final report, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/14675>
- ²² European Commission, Directorate-General for Energy, Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU: final report, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/14675>
- ²³ M. Ferrara et al. Cost-Optimal Analysis for Nearly Zero Energy Buildings Design and Optimization: A Critical Review *Energies*, 11:6 (2018), 1478. DOI: 10.3390/en11061478
- ²⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016H1318&from=EN>
- ²⁵ [https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/06/Nearly-zero EU-Member-State-Review-062021-Final.pdf.pdf](https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/06/Nearly-zero-EU-Member-State-Review-062021-Final.pdf.pdf)
- ²⁶ D. D'Agostino, S. Tsemekidi Tzeiranaki, P. Zangheri, P. Bertoldi, Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS) development in Europe, *Energy Strategy Reviews*, Volume 36, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100680>.
- ²⁷ International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- ²⁸ P. J. M. Monteiro, S. A. Miller, A. Horvath, Towards sustainable concrete, *NATURE MATERIALS*, VOL 16, (2017), Springer Nature
- ²⁹ M. González-Retamal, E. Forcael, G. Saelzer-Fuica, M. Vargas-Mosqueda, From Trees to Skyscrapers: Holistic Review of the Advances and Limitations of Multi-Storey Timber Buildings, *Buildings* (2022), 12, 1263. <https://doi.org/10.3390/buildings12081263>
- ³⁰ J. Brito, R. Kurda, The past and future of sustainable concrete: A critical review and new strategies on cement-based materials, *Journal of Cleaner Production*, 281, 2021, 123558
- ³¹ CEN, UNI-EN206-1:2022, Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- ³² AA.VV, *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*, Eds. J. de Brito, F. Agrela, (2019), Elsevier
- ³³ <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/21/presentation.htm>
- ³⁴ P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, McGraw Hill, (2013) ISBN: 978-0071797870
- ³⁵ Bilardo, Matteo, et al. "Modelling a fifth-generation bidirectional low temperature district heating and cooling (5GDHC) network for nearly Zero Energy District (nZED)." *Energy Reports* 7 (2021): 8390-8405.
- ³⁶ International Energy Agency (IEA), *District Heating – Tracking Report*, November 2021. Disponibile al link: <https://www.iea.org/reports/district-heating>
- ³⁷ Gestore dei Servizi Energetici (GSE), *Teleriscaldamento e Teleraffrescamento 2020*. Diffusione delle reti ed energia fornita in Italia. Nota di approfondimento, giugno 2022. Disponibile al link: https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/GSE%20-%20Nota%20Teleriscaldamento%20e%20teleraffrescamento%202022.pdf
- ³⁸ Lund, Henrik, et al. "4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems." *Energy* 68 (2014): 1-11.
- ³⁹ <https://www.gruppoiren.it/it/i-nostri-servizi/teleriscaldamento/la-nostra-rete.html>
- ⁴⁰ <https://www.a2acaloreservizi.eu/teleriscaldamento/impianti-e-reti/area-brescia>
- ⁴¹ S. Buffa, M. Cozzini, M. D'Antoni, M. Baratieri, R. Fedrizzi. "5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 104 (2019): 504-522
-

CAPITOLO 4

Produzione collettiva di energia rinnovabile nelle città: Positive Energy Districts, Comunità Energetiche Rinnovabili

Prof. Francesco Luca Basile

Dipartimento di Chimica Industriale, Università di Bologna

Prof. Leonardo Becchetti

Dipartimento di Economia e Finanza, Università di Roma Tor Vergata

Prof. Carlo Alberto Nucci

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione, Università di Bologna

I Positive Energy Districts

I *Positive Energy Districts* (PED) sono definiti come aree urbane o gruppi di edifici energeticamente efficienti e flessibili che producono zero emissioni nette e gestiscono annualmente un surplus locale di produzione di energia rinnovabile. Richiedono l'integrazione di differenti sistemi e infrastrutture, assicurando allo stesso tempo la fornitura di energia e una vita di qualità per tutti in linea con i principi di sostenibilità ambientale, sociale ed economica¹.

I PED sono strumenti chiave della transizione energetica urbana e costituiscono i sottosistemi che mirano a massimizzare l'efficienza energetica e la generazione di un surplus energetico. I PED sono anche lo strumento per passare da singoli *positive energy buildings*, ovvero da singoli edifici energeticamente efficienti che hanno una produzione di energia rinnovabile che eccede i loro consumi, ad aree più vaste che considerano e includono un maggior numero di servizi. Un approccio interessante è costituito dalla possibilità di sviluppare i PED a partire da rioni di dimensioni gestibili in termini di piani urbani ed energetici integrati che includano lo sviluppo tecnologico, spaziale, regolatorio, finanziario, legale oltre che ambientale, sociale ed economico. I PED possono così essere il prodotto di reti di aree urbane sostenibili e avere come obiettivo anche la minimizzazione della povertà energetica e la fornitura di servizi energetici e di mobilità ad alta sostenibilità sociale.

La diversità di caratteristiche socioculturali, architettoniche, di posizione geografica e quindi di opportunità di efficientamento e di produzione di energia delle città europee e italiane non permette di sviluppare i PED con un algoritmo in cui sia sufficiente inserire alcuni dati di *input*. I PED vanno progettati singolarmente partendo da un quadro di riferimento che tiene conto dei tre parametri fondamentali per il sistema energetico territoriale e regionale. Il primo e più ovvio è che i PED si basano sulla

potenzialità di produzione di energie rinnovabili; il secondo è che devono applicare tecnologie e sistemi in grado di massimizzare l'efficienza energetica; il terzo è che devono avere la capacità di integrarsi con il sistema energetico nel quale si inseriscono.

Sulla base di questi principi guida, le città – considerando le proprie caratteristiche fisiche, sociali, economiche e ambientali – dovrebbero sviluppare le loro strategie di sviluppo dei PED sfruttando in modo particolare la presenza di zone industriali periurbane, valorizzando, ad esempio:

- cascami termici per reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento;
- l'uso e l'integrazione di energia geotermica;
- l'integrazione con *hub* commerciali o di servizi con lo sviluppo di impianti di produzione fotovoltaici dell'ordine dei megawatt;
- lo sviluppo di comunità energetiche con produzione diffusa basata su edifici pubblici (scuole, ospedali) o privati;
- l'integrazione con siti per la gestione dei rifiuti e l'integrazione con ambiti rurali per la produzione di biogas/biometano e altri sistemi di energia rinnovabile oltre allo sviluppo di strumenti e servizi di mobilità a zero emissioni.

La sfida più complessa dei PED è riscontrabile nelle procedure di pianificazione e progettazione, nel loro sviluppo istituzionale e nella *governance*, elementi non standard che devono essere disegnati ad-hoc nel proficuo incontro tra enti locali, cittadini e portatori di interessi.

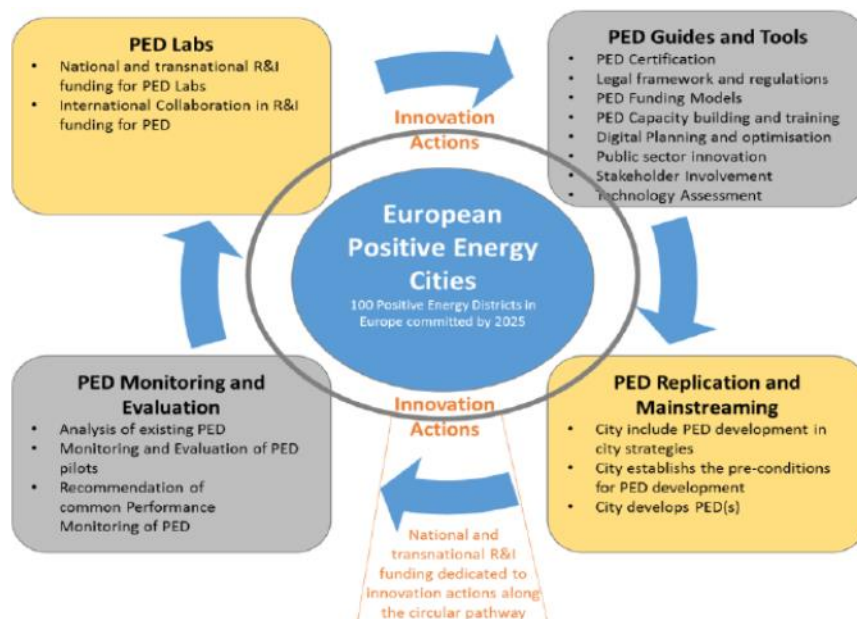


Figura 7: Programma di implementazione dei percorsi per i PED. (EC 2018)¹

In questo contesto risulta fondamentale lo sviluppo di metodi partecipativi di pianificazione in grado di risultare inclusivi anche per cittadini a basso reddito, in quanto i PED devono prevedere la presenza anche di edilizia sociale e popolare. Il piano per lo sviluppo dei *Positive Energy Districts* è stato definito dall'azione 3.2 del

Set Plan “*Smart cities and communities*” che ha prodotto un programma di implementazione¹.

Il monitoraggio del febbraio 2020 sui PED europei mostra come siano ancora pochi quelli dichiarati come tali e operativi (Åland Island in Finlandia e Carquefou (Nantes) in Francia) ma diversi sono in fase di realizzazione (18 città) e pianificazione (numerose città, fra cui Trento, Parma e Roma)². Eccetto poche eccezioni, la maggior parte sono progetti che coinvolgono piccole porzioni di territorio spesso caratterizzati da nuovi insediamenti². Il programma del Set Plan lanciato nel 2022 ha l’obiettivo dichiarato di arrivare a oltre 100 PED entro il 2025 ^{1,3} e di estendere le dimensioni e replicare massivamente la presenza in Europa dei PED per dare un contributo determinante alle *climate neutral cities* e in generale agli obiettivi di decarbonizzazione in ambito urbano.

La sfida delle comunità energetiche e dell’autoconsumo collettivo

La sfida della transizione ecologica pone oggi i cittadini e i governi fronte a tre questioni cruciali:

- la crisi energetica, con l’elevatissimo aumento avvenuto tra 2021 e 2022 dei prezzi del gas e di conseguenza dell’energia elettrica, dovuti sia ad elementi congiunturali – e in particolare all’invasione Russa dell’Ucraina – sia elementi più strutturali;
- la crisi sociale, a causa dell’impatto di questi aumenti sulla povertà energetica;
- la crisi ecologica, con la necessità di non abbandonare, ma anzi di accelerare, il percorso intrapreso della riduzione delle emissioni climalteranti.

Una risposta efficace su tutti e tre questi fronti può derivare dalla nascita delle comunità energetiche, incentivata nel PNRR da un fondo di 2,2 miliardi che ha l’obiettivo di contribuire ad abbattere la spesa da interessi nell’investimento. Con le comunità energetiche gruppi di cittadini e d’imprese possono creare vaste alleanze di pratica e diventare *prosumer* installando capacità produttiva da fonti rinnovabili e realizzando tre benefici:

- i) la riduzione del costo totale della bolletta (esclusi gli oneri di sistema) fino al 30%;
- ii) i premi per l’autoconsumo fissati dal governo;
- iii) la vendita al gestore dell’energia per l’immissione in rete dell’eccedenza di energia prodotta e non autoconsumata.

Le comunità energetiche hanno nel nostro paese una tradizione che risale addirittura al periodo a cavallo del ’900 quando nacquero le prime esperienze nelle zone alpine ricche di energia idroelettrica⁴. L’Unione europea stima al momento l’esistenza di circa 4.000 comunità energetiche ma il numero è in rapida crescita.

Le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), previste dalla Direttiva FER II 2018/2001/UE⁵, sono destinate a un forte sviluppo nei prossimi anni, anche per il mutamento dell’orizzonte legislativo. Le CER si configurano come associazioni tra diversi attori (cittadini, piccole imprese, comuni, associazioni) per l’autoproduzione,

lo stoccaggio e l'autoconsumo di energia elettrica. Oggi la loro nascita è incentivata da fondi pubblici ulteriori a quelli del PNRR poiché l'investimento iniziale può essere soggetto ad iper-ammortamento se realizzato da imprese, alle misure del 110% se accompagnato da altre iniziative di efficientamento energetico degli edifici o comunque a detrazioni fiscali su una quota rilevante dell'investimento. Il d.l. 199/2021, che ha recepito con ritardo la direttiva FER II, estende la potenza massima installabile da 200kW a 1MW e permette la realizzazione di CER che sottostiano alla stessa cabina primaria di condivisione dell'energia, permettendo la costituzione di comunità anche tra utenti ed edifici distanti tra loro.

Le CER allargheranno significativamente l'autoconsumo di energia autoprodotta. Le comunità energetiche con la loro capacità di ridurre il costo dell'energia per famiglie e imprese sono una soluzione al caro bolletta presente e futuro; accelerare il più rapidamente possibile il varo delle comunità energetiche è un pezzo importante nella strategia del paese verso la transizione ecologica, data anche la possibile partecipazione di esse al mercato, prevista dalla direttiva UE 2019/944⁶.

Un altro aspetto significativo di questa opzione è la sua capacità di risposta dal basso al problema energetico, creando alleanze tra diversi attori (diocesi, parrocchie, associazioni di terzo settore, amministrazioni comunali, piccole imprese, cittadini) per il bene comune.

I punti chiave da salvaguardare sono il premio per l'autoconsumo e l'estensione del concetto di autoconsumo all'energia non prodotta e consumata istantaneamente ma accumulata in loco dalla comunità energetica e utilizzata successivamente. Il premio per l'autoconsumo, che rappresenta ad oggi la parte più consistente del beneficio, ha una sua ben precisa *ratio*. La transizione ecologica aumenterà significativamente il traffico sulla rete elettrica determinando oneri importanti di gestione e riorganizzazione della stessa (*smart grid*). Un sistema di produzione geograficamente diffuso e partecipato composto da molti attori che autoconsumano ciò che producono riduce la quota di energia prodotta che passa attraverso le reti di alta tensione, riducendo il rischio di congestionamento e di disservizi.

Le politiche delle città per le comunità energetiche

Le amministrazioni locali possono svolgere un ruolo fondamentale nell'attivazione delle comunità energetiche, attivando uno strumento di partecipazione dal basso dei cittadini che può dare un contributo fondamentale alla realizzazione dell'obiettivo di neutralità climatica al 2030.

La prima azione da fare dovrebbe essere il censimento degli edifici di proprietà dei Comuni e la verifica delle superfici utilizzabili per la copertura con pannelli e la produzione di energia con fotovoltaico. Si tratta di una verifica ormai realizzabile in modo molto semplice, con l'ausilio di tecnici in grado di fare una prima valutazione solo attraverso l'utilizzo di *software* di geolocalizzazione con immagini satellitari.

Una volta definito il potenziale direttamente attivabile dall'amministrazione pubblica si tratta di comprendere con quali geometrie è possibile costruire comunità energetiche ovvero quale rete di contatori/utenti è possibile associare all'impianto realizzabile su edificio pubblico. Con investimenti assolutamente contenuti, l'amministrazione locale può avviare la costruzione degli impianti e consentire a membri della comunità energetica di autoconsumare l'energia prodotta (è possibile

collegare l'obiettivo ambientale con quello sociale utilizzando i proventi della comunità energetica per subsidiare l'acquisto di energia per famiglie in povertà o a rischio di povertà energetica).

L'amministrazione locale non dovrebbe soltanto incentivare la creazione di comunità energetiche finanziando la realizzazione di impianti su edifici di sua proprietà ma dovrebbe anche favorirne la nascita promuovendo meccanismi locali di agevolazione creditizia. Le somme per gli investimenti iniziali sono infatti quasi sempre limitate ma schemi di agevolazione possono aiutare comunità locali ad accettare il rischio dell'investimento.

Da questo punto di vista, appare importante utilizzare i fondi del PNRR che mettono a disposizione 2,2 miliardi per incentivi a copertura delle spese per interessi per investimenti finalizzati alla nascita di comunità energetiche. I fondi sono preferenzialmente ma non esclusivamente riservati a piccoli Comuni. A questi fondi si aggiungono quelli stanziati dalle leggi regionali (es. la legge regionale 2/2022 della Lombardia^A).

Box 5: Azioni da parte delle municipalità a supporto delle comunità energetiche

- **Costituzione di comunità energetiche di varia tipologia che rappresentino un esempio per i cittadini.** Per facilitare la istituzione di CER sul proprio territorio, ogni città potrebbe rendersi promotrice della costituzione di alcune di esse in varie zone della propria area. Idealmente dovrebbero essere costruite comunità energetiche con *prosumer* di varia natura, civili, pubblici, industriali.
- **Azioni di promozione del concetto di comunità energetiche dei cittadini.** Tale promozione, da espletarsi negli opportuni organi di governo delle città, è favorita dalla partecipazione della città al Patto dei sindaci. In tale quadro, l'adozione di normative specifiche sull'uso del suolo o sugli edifici che favoriscano lo sviluppo di fonti energetiche di proprietà dei cittadini o della comunità rappresenta un utile strumento. I Comuni possono promuovere l'organizzazione di eventi dedicati alla alfabetizzazione energetica dei cittadini e a favorire e facilitare il dialogo tra gli *stakeholder* locali.
- **Implementare misure di facilitazione.** Le facilitazioni possono prendere la forma sia di incentivi per la gestione della comunità nel corso dei primi anni di funzionamento della comunità stessa sia nella istituzione di uno sportello dedicato a tale gestione sia nel promuovere forme di garanzia mutualizzate presso gli istituti bancari legati al territorio. Un'altra facilitazione deriverebbe dal mettere a disposizione le mappe dei tetti sui quali è possibile la installazione di pannelli fotovoltaici e, in collaborazione con il distributore locale di energia elettrica, gli schemi di collegamento tra cabine primarie e cabine secondarie dei vari quartieri della città.

¹ European Commission (2018): SET Plan Action 3.2 Implementation Plan;
https://setis.ec.europa.eu/system/files/setplan_smartcities_implementationplan.pdf

^A <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/ambiente-ed-energia/Energia/Fonti-rinnovabili/lr-2-del-2022-comunita-energetica-regionale-lombarda/lr-2-del-2022-comunita-energetica-regionale-lombarda>

² JPI Urban Europe: Europe towards positive energy district: PED booklet first update Feb 2020. https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2020/06/PED-Booklet-Update-Feb-2020_2.pdf

³ Jonas Bylund, Christoph Gollner, Maximilian Jäger, Gabriele Klaming, Margit Noll, Johannes Riegler, Ann Rodenstedt, Björn Wallsten, Driving Urban transition European partnership: Driving Urban Transitions to a Sustainable Future Roadmap. <https://dutpartnership.eu/wp-content/uploads/2022/09/DUT-Roadmap-2022-komprimiert.pdf>

⁴ F. Barroco, A. Borghetti, F. Cappellaro, C. Carani, R. Chiarini, G. D'Agosta, P. De Sabbata, F. Napolitano, G. Nigliaccio, C.A. Nucci, C. Orozco Corredor, C. Palumbo, S. Pizzuti, G. Pulazza, S. Romano, F. Tossani, E. Valpreda, "Le comunità energetiche in Italia: una guida per orientare i cittadini nel nuovo mercato dell'energia. <https://doi.org/10.12910/DOC2020-012>

⁵ Unione Europea. Directive UE 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources. December 2018.

<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

⁶ Unione Europea. Directive UE 2019/944 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU. June 2019.

<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>

CAPITOLO 5

Aspetti di sistema: rendere smart il sistema energetico

Prof. Carlo Alberto Nucci

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione, Università di Bologna

Ing. Mirko Procopio

Struttura Tecnica di Missione, MIMS

Smart Energy Systems

Verso un sistema elettrico più intelligente

I settori termico e dei trasporti sono ancora dominati da fonti primarie di energia da combustibili fossili e la loro transizione elettrica richiede tempo e il migliore sfruttamento dei finanziamenti attualmente disponibili. È ragionevole ritenere che la rete elettrica sarà sempre più interessata da un costante aumento in termini di potenza prodotta e trasmessa legata a tali settori e che tale potenza occorre venga prodotta mediante fonti rinnovabili. Ad esempio, per il settore termico, in particolare per il riscaldamento, per il quale l'impiego di pompe di calore alimentate da generatori elettrici da fonte rinnovabile costituisce una prospettiva sempre più attraente anche alla luce degli incentivi recentemente introdotti, è ragionevole prevedere una progressiva, crescente transizione elettrica. A ciò si aggiunge che l'idrogeno verde, particolarmente adatto per i settori difficili da decarbonizzare, necessita di elettrolisi alimentata da energia rinnovabile e che il collegamento degli elettrolizzatori alle reti elettriche – ed eventualmente alle reti del gas esistenti o a nuove reti dedicate – ne comporterà una gestione ancora più complessa. In questo contesto, il consumo elettrico è quindi necessariamente destinato ad aumentare in modo consistente nel prossimo futuro^{1,2}.

La rete elettrica, ritenuta la principale sede naturale per l'integrazione dell'energia fluttuante da fonti rinnovabili (eolica, solare, idraulica), necessita quindi di una opportuna espansione. Tale espansione, da un lato, e lo sfruttamento delle fonti rinnovabili, dall'altro, richiedono come sopra menzionato una gestione ancora più intelligente della rete, sia per la aleatorietà della disponibilità di tali fonti di energia, che rende quindi fondamentale la disponibilità di fonti di accumulo per equilibrare produzione e domanda, sia per il fatto che, almeno per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici e la maggior parte di quelli eolici, la loro connessione alla rete avviene tramite inverter, non sempre in grado, almeno nelle condizioni attuali, di far fronte agli squilibri tra la domanda di energia da parte degli utenti e la produzione elettrica^A. Da qui la necessità di equipaggiarli con inerzia sintetica, mediante lo sfruttamento di sistemi di accumulo o di condensatori/super-condensatori. La conseguente crescente

^A Gli inverter, infatti, sono privi dell'inerzia meccanica delle masse rotanti degli alternatori delle centrali termoelettriche e idroelettriche tradizionali.

complessità della gestione della rete elettrica richiede l'installazione di sistemi per la gestione dinamica dei flussi nei nodi di rete ad alta tensione con attuatori FACTS, il potenziamento delle relative infrastrutture ICT e una sempre più marcata digitalizzazione, da cui la popolare denominazione *smart grid*, rete intelligente³.

La *smart grid* e lo *smart energy system*

La *smart grid* è generalmente considerata come il principale fattore abilitante del concetto di *smart city* e come lo strumento principale per realizzare i cosiddetti *smart energy systems* che prevedono l'integrazione del sistema energetico. È l'integrazione del sistema energetico, realizzabile grazie alla pianificazione e al funzionamento coordinati del sistema energetico nel suo complesso, che contiene più vettori energetici, infrastrutture e settori di consumo, la strada che può portare a una decarbonizzazione dell'economia in linea con l'accordo di Parigi e l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile.



Il sistema energetico attuale: flussi di energia costosi e in una sola direzione.	Lo smart energy system: flussi di energia tra utenti e produttori, con maggiore efficienza tecnico/economica.
---	---

Figura 8: *Smart Energy System*: rappresentazione concettuale in confronto con il sistema energetico tradizionale, adattato da "EU Energy System Integration Strategy" (adattata da ⁴)

Secondo la "EU Energy System Integration Strategy"⁴ l'integrazione del sistema energetico si deve sviluppare secondo tre concetti complementari e sinergici:

- un sistema energetico più circolare, imperniato sull'efficienza energetica, in cui sia data priorità alle scelte meno energivore, siano riutilizzati a fini energetici i flussi di rifiuti inevitabili e siano sfruttate le sinergie in tutti i settori;
- una maggiore elettrificazione diretta dei settori d'uso finale, per esempio utilizzando pompe di calore per il riscaldamento degli ambienti o per processi industriali a bassa temperatura, veicoli elettrici nel settore dei trasporti o forni elettrici in determinati settori;
- l'uso di energie rinnovabili e a basse emissioni di carbonio, compreso l'idrogeno e/o i suoi derivati, per applicazioni d'uso finali in cui il riscaldamento o l'elettrificazione diretti non sono realizzabili, o insufficienti dal punto di vista tecnico/economico.

Uno *smart energy system* dovrà garantire un approccio multidirezionale in cui i consumatori svolgono un ruolo attivo nell'approvvigionamento energetico (*prosumer*), immettendo in rete, ad esempio, l'energia elettrica che producono individualmente o in quanto parte di Comunità Energetiche Rinnovabili (CER).

Al tempo stesso lo *smart energy system* deve essere in grado di ottimizzare i rendimenti tecnici delle reti energetiche interconnesse e all'interno di ogni sottorete.

Per la realizzazione di uno *smart energy system* alcuni punti risultano quindi imprescindibili:

- applicare sistematicamente il principio dell'efficienza energetica prioritariamente in tutto il sistema energetico;
- utilizzare in modo sufficiente e adeguato nei nostri edifici e nelle nostre comunità le fonti di energia locale (ad esempio il riutilizzo del calore di scarto proveniente da siti industriali, centri dati o altre fonti);
- utilizzare il potenziale, sovente non sfruttato, delle acque reflue e dei residui e rifiuti biologici per la produzione di bioenergia.

L'integrazione del sistema energetico, inoltre, deve sfruttare al meglio le infrastrutture esistenti, evitando effetti di dipendenza, traducendosi in un maggior numero di connessioni fisiche tra vettori energetici⁵. Occorre quindi un nuovo approccio olistico per la pianificazione delle infrastrutture sia su vasta scala che a livello locale, che includa la protezione e la resilienza delle infrastrutture critiche. La pianificazione delle infrastrutture dovrebbe agevolare l'integrazione dei vari vettori energetici, consentendo di scegliere tra lo sviluppo di nuove infrastrutture o la conversione di quelle esistenti, e dovrebbe prendere in considerazione le alternative rappresentate dal *demand control* e dai sistemi di accumulo.

Nell'industria il calore rappresenta più del 60 % dell'energia consumata. Le pompe di calore industriali possono contribuire alla decarbonizzazione dell'approvvigionamento di calore a bassa temperatura nelle industrie e possono essere associate al recupero del calore di scarto.

Nel settore dei trasporti, il Rapporto STEMI del MIMS dell'aprile 2022^B ha fornito un primo quadro sulle prospettive tecnologiche per i vari settori della mobilità. La mobilità elettrica è in questo quadro fondamentale: accelererà la decarbonizzazione e ridurrà l'inquinamento, in particolare nelle città; nuovi servizi di mobilità aumenteranno invece l'efficienza del sistema dei trasporti e ridurranno il traffico. La loro interazione con la rete viene discussa più avanti. Dal punto di vista della richiesta di energia, lo sviluppo della mobilità elettrica dovrà andare in parallelo all'incremento della produzione di energia rinnovabile e dell'aumento di capacità di stoccaggio.

Un elemento fondamentale dello *smart energy system* (non solo per la gestione ottimale delle comunità energetiche ma anche per la più complessa gestione delle fonti rinnovabili che sono per definizione non dispacciabili) risulta infatti la disponibilità di sorgenti di accumulo. La tecnologia elettrochimica delle batterie al litio, nelle sue varie declinazioni, viene ritenuta una delle più promettenti se l'uso

^B https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-09/STEMI_Decarbonizzare%20i%20trasporti_ITA.pdf

dell'energia accumulata è previsto in tempi brevi (ad esempio per i servizi di dispacciamento), mentre invece per tempi più lunghi (autoconsumo che si sviluppa nell'arco di mesi) per i quali il mantenimento della carica degli accumulatori è ritenuto tecnicamente inefficiente, diverse tecnologie sono oggi in competizione o in via di sviluppo (ad esempio le tecnologie di pompaggio idroelettrico, il *power-to-gas*, la compressione e liquefazione della CO₂, le batterie a flusso redox, etc.).

Infine, l'integrazione del sistema può contribuire anche a una maggiore responsabilizzazione dei consumatori, a una migliore resilienza e alla sicurezza dell'approvvigionamento grazie al collegamento dei diversi vettori energetici, alla produzione locale, all'autoproduzione e all'uso intelligente dell'approvvigionamento energetico geograficamente distribuito. È importante che le famiglie meno abbienti siano incluse in questo processo e che sia affrontata la povertà energetica.

Il *Clean Energy Package* (CEP)⁶ dell'Unione europea ha rinforzato i diritti di informazione limitatamente ai clienti dell'energia elettrica, ma occorre che vengano allineati quelli dei clienti del settore del gas e del teleriscaldamento.

Le smart grid nelle città

Come prima menzionato, per accelerare l'elettrificazione di nuovi usi finali occorrerà rafforzare la rete, principalmente a livello di distribuzione ma anche di trasmissione, rendendola al contempo più intelligente. Ci concentriamo qui, per ovvie ragioni, sulla penetrazione di generazione da fonte rinnovabili a livello più locale e quindi sulla necessità di applicare il concetto di *smart grid* alle reti di distribuzione (es. i progetti *Puglia Active Network* e *Replicate* di E-distribuzione). L'elettrificazione del trasporto passeggeri su strada richiederà certamente il miglioramento dell'infrastruttura delle reti locali e occorrerà verificare la *grid capacity* per poter soddisfare la richiesta dei nuovi carichi originariamente non previsti per la rete rappresentati dalle infrastrutture di ricarica e gestirne la flessibilità grazie all'uso di strumenti di co-simulazione (rete elettrica-rete ICT e traffico) predittivi e di *Digital Twin*. Nello stesso tempo, la diffusione dei veicoli elettrici, equipaggiati con *inverter* bidirezionali, può creare opportunità di accumulo e flessibilità del sistema. In particolare, la ricarica intelligente e i cosiddetti servizi veicolo-rete (*vehicle to grid*, vedi 5.2) saranno essenziali per gestire la congestione della rete e limitare gli investimenti per aumentarne la capacità.

Una risorsa fondamentale per le città è rappresentata dalle già trattate CER^{7,8,9,10}, che hanno lo scopo di produrre energia elettrica da fonti rinnovabili laddove questa viene richiesta, favorendo in tal modo l'autoconsumo e diminuendo i flussi energetici nelle reti di distribuzione. Acquisirà in tale contesto sempre più importanza il ruolo svolto dalle cabine primarie e secondarie della rete di distribuzione. Le cabine secondarie sono state oggetto della legge 8/2020¹¹ che limitava la potenza delle CER ad un massimo di 200 kW e prescriveva che i membri della CER dovessero sottostare alla stessa cabina secondaria. Le cabine primarie sono state invece l'oggetto del recepimento della Direttiva FER II (d.l. n. 199/2021¹²), che ha superato le limitazioni precedenti prevedendo una potenza degli impianti minore o uguale a 1MW (di cui il 30% può essere anche di vecchi impianti) e disponendo che i membri di una CER siano collegati alla stessa cabina primaria. La disponibilità degli schemi di collegamento degli impianti della rete elettrica cittadina risulta pertanto un elemento rilevante.

Per consentire ai cittadini di modificare i modelli di consumo energetico e di passare a soluzioni che sostengano uno *smart energy system*¹³, è essenziale che questi dispongano di informazioni chiare e facilmente accessibili. I clienti – cittadini e imprese – dovrebbero essere informati sui loro diritti, sulle opzioni tecnologiche disponibili, sulle emissioni di carbonio e sull'impronta ambientale associate, di modo che possano compiere scelte informate e guidare realmente la decarbonizzazione. Vi sono infatti limiti alle capacità degli attuali contatori "intelligenti" di nuova generazione, che non essendo dotati di SIM non permettono ai membri delle CER di scambiare dati in tempo reale o comunque utili per gestire in modo ottimale e indipendente i flussi energetici della microrete relativa. Per far fronte a questa limitazione, oggi sono previsti *meter* da affiancare in parallelo ai contatori intelligenti dei distributori dell'energia elettrica (soluzioni *PL2 chain* o *NILM*), non sempre di immediata implementazione. La disponibilità di sensori, estesa anche ai carichi, renderebbe possibile l'implementazione del concetto di *Demand Side Management* (DMS), che consentirebbe il controllo *smart* dei carichi. L'importanza di tali ausili tecnici per le comunità energetiche risulta evidente se si ricorda che gli incentivi previsti dipendono dalla quantità di energia autoconsumata. Gli unici parametri sui quali è possibile agire per ottimizzare al meglio i flussi della comunità energetica al fine di massimizzare gli incentivi sono i sistemi di accumulo e i carichi collegati alla comunità stessa (non è possibile chiaramente gestire la fonte rinnovabile che è disponibile in modo aleatorio). La possibilità di avere a disposizione un sistema di gestione o *energy management system* (EMS) della comunità energetica in grado di ottimizzare i flussi gestendo l'accumulo e il DSM è quindi legato alla disponibilità di raccogliere e distribuire i dati provenienti dal sistema di *metering* installato e dalla capacità di agire in tempo reale sulle fonti di accumulo e sui carichi.

La digitalizzazione è quindi un elemento fondamentale per l'integrazione del sistema energetico: può agevolare flussi dinamici e interconnessi tra vettori energetici, consentire la connessione di mercati più diversificati e fornire i dati necessari per far corrispondere l'offerta alla domanda a un livello più disaggregato e, idealmente, in tempo reale. Una combinazione di sensori innovativi, infrastrutture di scambio dati avanzate e di capacità di trattamento dei dati che utilizzino approcci *big data*, l'intelligenza artificiale, il 5G e le tecnologie di registro distribuito possono migliorare le previsioni, consentire il monitoraggio e la gestione a distanza della generazione distribuita e ottimizzarne le attività, compreso l'uso in loco dell'autoproduzione.

Naturalmente, la ricerca e l'innovazione rappresentano da sempre un fattore chiave per lo sviluppo e lo sfruttamento di nuove sinergie nel sistema energetico, che nel prossimo futuro dovranno concentrarsi sulla mobilità elettrica, il riscaldamento e la decarbonizzazione delle industrie altamente energivore. Se da un lato la ricerca è naturale che si concentri sullo sviluppo e la immissione sul mercato delle tecnologie meno mature e innovative, dovrebbe essere al contempo potenziata la diffusione di tecnologie più mature e in grado di portare valore aggiunto apprezzabile attraverso dimostrazioni su larga scala nell'ambito di *Horizon Europe* e dei suoi partenariati, traendo vantaggio dalla complementarità tra i vari programmi di finanziamento della Unione europea.

EV-grid interaction

Il rapporto tra veicoli elettrici e rete elettrica

Come già menzionato, il ruolo dell'integrazione intelligente tra il sistema di produzione, trasmissione, distribuzione e utilizzo finale dell'energia sarà fondamentale per garantire affidabilità e resilienza ad un sistema come quello elettrico oggi in profondo mutamento. Con l'avvento delle fonti rinnovabili, infatti, si sta passando da un sistema di produzione puntuale, dove grandi centrali producono elettricità in continuità durante le ore del giorno e della notte per un bacino di utenze esteso, a un sistema di produzione diffuso, dove impianti di taglia medio-piccola, dedicati sia all'autoproduzione che alla produzione commerciale, sono disseminati sul territorio e, dipendenti da fattori esogeni come la presenza di vento o radiazione solare, immettono nella rete quantità di energia non costanti nel tempo. In questo contesto, il problema più grande è rappresentato dalla stabilità della rete: affinché la rete sia stabile deve infatti verificarsi un equilibrio costante tra l'energia prodotta e quella consumata, bilanciando in maniera continuativa possibili anomalie di frequenza e tensione. Questo ruolo viene svolto da Terna che monitora e gestisce in tempo reale i flussi di energia sulla rete (dispacciamento) attraverso il Centro nazionale di controllo richiedendo, tra le altre cose, agli impianti centralizzati di aumentare o diminuire la produzione in caso di necessità^C. Come precedentemente descritto, in un sistema basato sulle energie rinnovabili questa attività necessiterà di un ripensamento del sistema in cui avranno un ruolo primario le tecnologie legate alla *smart grid* e ai sistemi di accumulo. In questo contesto, le batterie contenute all'interno dei veicoli saranno un *asset* fondamentale da utilizzare durante tutto il loro ciclo di vita, dal primo utilizzo alla seconda vita come accumulo stazionario. Considerando lo scenario sviluppato da RSE coerente col *Fit for 55* si avrà infatti, al 2030, una disponibilità teorica di 290 GWh in batterie di autoveicoli elettrici e *plug-in hybrid* sul territorio italiano da poter in parte utilizzare a supporto della stabilità della rete e degli usi finali^{14,D}. Il dato è interessante anche in quanto, parallelamente alla diffusione dei veicoli elettrici, si renderanno disponibili numeri crescenti di batterie usate, che potranno essere riutilizzate per equipaggiare sistemi stazionari di accumulo, attraverso il cosiddetto utilizzo di seconda vita.

Dallo *smart charging* al *vehicle-to-everything*

Dal loro ingresso sul mercato, la ricarica dei veicoli elettrici rappresenta un aspetto in continua evoluzione a causa delle numerose problematiche e opportunità ad essa legate. Lo *smart charging* tradizionale, anche chiamato V1G o ricarica intelligente unidirezionale, permette infatti di regolare l'energia in entrata nel veicolo in modo da aumentare o diminuire l'intensità di ricarica a seconda delle necessità (ad esempio al fine di evitare i picchi di domanda o per non superare una certa soglia di potenza prestabilita). L'evoluzione di questa tecnologia, chiamata in modo generico *vehicle-to-everything* (V2X), consente, attraverso dei protocolli di comunicazione^E, di

^C <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/dispacciamento>

^D Lo scenario sviluppato da RSE e coerente con gli obiettivi del *Fit for 55* prevede 6,2 milioni di veicoli BEV e 1,2 milioni di veicoli PHEV circolanti al 2030. Il calcolo ha considerato uno scenario conservativo di 45 kWh di capacità media per BEV e 10 kWh per PHEV.

^E Ad esempio l'ISO 15118, <https://www.iso.org/standard/77845.html>

instaurare un collegamento bidirezionale tra il veicolo e l'ambiente circostante. Attraverso questo collegamento, il veicolo è in grado di reintrodurre in rete, attraverso una stazione di ricarica ad-hoc, l'energia immagazzinata all'interno della batteria.

In base al soggetto che riceve l'energia immagazzinata nel veicolo e allo *use case* considerato si hanno diverse declinazioni del concetto di *vehicle-to-everything* (V2X). Il *vehicle-to-home* (V2H) e il *vehicle-to-building* (V2B) consentono di collegare il veicolo rispettivamente a una abitazione o a un edificio, fornendo energia elettrica durante possibili *blackout* o ricaricando la batteria quando vi sia eccedenza di energia autoprodotta dall'edificio e cedendola quando è necessario o maggiormente remunerativo. Il *vehicle-to-grid* (V2G), invece, fornendo direttamente energia alla rete, può contribuire al bilanciamento dei carichi e alla mitigazione dei colli di bottiglia garantendo ai gestori della rete una notevole capacità di riserva distribuita sul territorio.

La situazione italiana e le prospettive per il V2G

Il D.M. del 30 gennaio 2020 "Criteri e modalità per favorire la diffusione della tecnologia di integrazione tra i veicoli elettrici e la rete elettrica, denominata *vehicle-to-grid*"¹⁵ riporta i criteri e le modalità per favorire la diffusione a livello nazionale della nuova tecnologia e identifica i servizi che possono essere erogati dai veicoli, come i servizi di riserva terziaria, di bilanciamento o di regolazione di frequenza e di tensione. In questo contesto, la sperimentazione e la ricerca risultano fondamentali per accelerare il processo di adozione di questa nuova tecnologia attraverso progetti di ricerca co-finanziati da fondi nazionali o europei^F. Una delle questioni principali, infatti, è rappresentata oggi dall'alto costo delle stazioni di ricarica V2G che, in assenza di un'adeguata sperimentazione e diffusione e di un quadro normativo chiaro, difficilmente potranno essere competitive nel breve periodo. In questo contesto, va inoltre sottolineata l'importanza di inserire questi progetti in cornici internazionali capaci di influire sulla definizione degli standard tecnici facendo leva sul *know-how* industriale nazionale. La sperimentazione di queste soluzioni, in particolar modo nell'ambito delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), rappresenta un'opportunità per garantire l'autonomia gestionale in presenza di un'autoproduzione estensiva ponendo le basi per la resilienza e l'indipendenza di un sistema energetico basato su sole fonti di energia rinnovabile.

¹ C.A. Nucci, "La Mission EU "Climate Neutral and Smart Cities", AEIT, nr. 11/12, novembre/dicembre 2020, ISSN 1825-828K.

² G. Chicco, P. Crossley, C.A. Nucci, Electric Power Engineering Education: Cultivating the Talent in the United Kingdom and Italy to Build the Low-Carbon Economy of the Future, «IEEE POWER & ENERGY MAGAZINE», 2018, 16, Article number: 8438372

³ S. Hussain, C. Z. El-Bayeh, C. Lai and U. Eicker, "Multi-Level Energy Management Systems Toward a Smarter Grid: A Review," in IEEE Access, vol. 9, pp. 71994-72016, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078082.

^F Un esempio è rappresentato dal DrossOne V2G Parking project:

https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2021_drossone_v2gparking_en.pdf

⁴ https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/eu-strategy-energy-system-integration_en

⁵ G. Gradi, M. Di Somma, and (Eds), Technologies for Integrated Energy Systems and Networks. WILEY VCH, 2022.

⁶ European Commission, Directorate-General for Energy, Clean energy for all Europeans, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937>

⁷ M. de Simón-Martín, S. Bracco, G. Piazza, L. C. Pagnini, A. González-Martínez, and F. Delfino, "Levelized Cost of Energy in Sustainable Energy Communities," Academic Press, 2022.

⁸ Unione Europea. Directive UE 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources. December 2018.

<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

⁹ Unione Europea. Directive UE 2019/944 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU. June 2019.

<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>

¹⁰ Delibera 318/2020/R/eel dell'ARERA (Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente) e il DM 16 settembre 2020 del Ministero dello Sviluppo Economico.

¹¹ Articolo 42-bis del Decreto Milleproroghe 162/2019 (convertito con la Legge n. 8/2020 del 28 febbraio 2020)

¹² Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199, "Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. (21G00214)"

¹³ F. Etedadi Aliabadi, K. Agbossou, S. Kelouwani, N. Henao and S. S. Hosseini, "Coordination of Smart Home Energy Management Systems in Neighborhood Areas: A Systematic Review," in IEEE Access, vol. 9, pp. 36417-36443, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3061995.

¹⁴ Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibile (2022d), Decarbonizzare i trasporti. Evidenze scientifiche e proposte di policy, Roma.

¹⁵ D.M. del 30 gennaio 2020 "Criteri e modalità per favorire la diffusione della tecnologia di integrazione tra i veicoli elettrici e la rete elettrica, denominata vehicle-to-grid", <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/02/14/20A00891/sq>

CAPITOLO 6

Spingere verso comportamenti e investimenti virtuosi

Prof. Riccardo Viale

Dipartimento di economia, metodi quantitativi e strategie di impresa, Università di Milano Bicocca e Segretario Generale della Herbert Simon Society

Elettrificazione dei consumi domestici

Molti dei cambiamenti verso soluzioni a basse o zero emissioni negli edifici o nei trasporti derivano da scelte d'investimento e di gestione del *budget* domestico da parte delle famiglie. In questa sezione vogliamo quindi introdurre elementi di economia comportamentale che possano aiutare a disegnare politiche e pratiche per aiutare a prendere decisioni razionali che aiutino la necessaria transizione verso lo zero-netto di emissioni.

Il gas è ad oggi una delle principali fonti di energia al mondo ed è in assoluto la materia prima più utilizzata per gli impianti di riscaldamento, soprattutto in Italia.

Il gas viene utilizzato a fini domestici e industriali per produrre elettricità e calore, spostare merci e persone. Più dell'80% delle famiglie italiane è servito dal gas per usi domestici (per cucinare e per riscaldare) e nel nostro Paese il gas naturale incide per oltre il 40% sulla produzione di energia elettrica. Nel mondo la sua quota nel mix energetico è pari a circa il 22% ed è destinato a salire almeno al 25% entro il 2040 per sostituire parte dei consumi di carbone e petrolio e accompagnare lo sviluppo delle fonti rinnovabili, sempre che l'attuale crisi energetica non spinga ad accelerare la transizione.

Secondo diverse indagini compiute in tutta Europa, nelle abitazioni più vecchie si registrano consumi di gas molto più elevati rispetto agli immobili di recente costruzione. La motivazione è da ricercare non soltanto nella presenza di sistemi energetici ormai obsoleti e spesso altamente inquinanti, ma anche nella maggiore ricorrenza di fughe di gas e sprechi energetici. La presenza poi di infissi datati o la mancanza di adeguati e moderni sistemi di isolamento termico nelle case sono le principali cause di perdite di calore e quindi di un maggior consumo di gas naturale per riscaldare gli ambienti domestici.

Si stima che in Italia il numero di abitazioni e immobili in cattive condizioni di conservazione e di notevole obsolescenza rappresentino circa un quinto del totale, e si tratta perlopiù di edifici e unità abitative costruiti prima del 1981 e oggi assolutamente non conformi alle recenti direttive nazionali ed europee in materia di conservazione energetica.

Un'altra tipologia di fattori che influenza il consumo domestico del gas è di tipo sociodemografico: secondo diversi studi, gli individui di età over 60 sono molto più inclini all'utilizzo di un sistema domestico a gas rispetto agli individui più giovani. Questo perché i soggetti più anziani sono molto meno sensibili al cambiamento e

all'innovazione e il loro consumo di gas risulta maggiore anche per il fatto che passano molto più tempo a casa in confronto alle fasce più giovani della popolazione.

Inoltre, anche il reddito è una variabile di non poco conto per determinare il consumo di gas domestico: esiste infatti una forte correlazione tra un reddito elevato e un alto consumo di gas, probabilmente per il fatto che a una maggiore disponibilità economica corrisponde molto spesso un'abitazione più grande e di conseguenza più energivora. Esiste però anche un'antitesi a quest'assunto: secondo uno studio, sarebbero invece gli individui a reddito più basso a consumare, proporzionalmente, più gas, dal momento che il gas (e le relative *appliances* domestiche) costava di meno rispetto all'elettricità a livello di medesima unità energetica e dal momento che si presume che gli individui a reddito più alto passino meno tempo in casa.

Un'altra importante variabile sociodemografica è anche il livello di educazione e istruzione per quanto incidono tali fattori (naturalmente correlati anche al reddito) sulla possibilità di conversione dei propri consumi energetici.

Bias e propensioni cognitive che influenzano le scelte

Ogni scelta di consumo energetico ha a che fare con le propensioni e le inclinazioni messe in luce recentemente dall'economia comportamentale.

I *bias*³⁶ e le propensioni cognitive che meglio spiegano il comportamento degli utenti in relazione alle scelte dei consumi energetici sono molteplici^{1,2}. Per quanto riguarda i *bias*, i principali sono:

- **Bias dello status quo**: il pregiudizio dello status quo è un errore cognitivo che consiste nella preferenza per la situazione attuale rispetto ad altre possibili. La situazione attuale viene presa come punto di riferimento e qualsiasi cambiamento di situazione viene percepito come una perdita. L'attaccamento alla preferenza del momento o a una situazione di *default* (anche di tipo socioculturale) determina una forte resistenza al cambiamento, anche a fronte di un sostanziale e vantaggioso beneficio derivante dall'intraprendere una scelta diversa. Questo *bias* è fortemente legato alle scelte di elettrificazione: le persone confrontano le alternative energetiche, come le pompe di calore e i fornelli a induzione, con i prodotti tradizionali – le caldaie e i fornelli a gas – che, culturalmente e tradizionalmente fanno da riferimento e il paragone viene fatto essenzialmente sulla leva del prezzo di acquisto e delle performance.
- **Avversione alle perdite**: la paura di perdere qualcosa è maggiore rispetto al piacere di acquisirla. La paura del cambiamento è assolutamente normale e spesso si rivela essere molto più grande nell'immaginario che nell'effettiva realtà delle cose: in fase di considerazione di un passaggio dal gas all'elettrico per il riscaldamento della propria casa vi sono delle paure ricorrenti nella maggior parte dei consumatori. Le principali paure

³⁶ Il termine inglese "*bias*", letteralmente tradotto con "pregiudizio", vuole significare più ampiamente gli errori (di valutazione, di percezione, etc.).

sono: spendere molto di più in bolletta della luce; timore di rimanere al freddo in caso di blackout totale; timore che le pompe di calore non funzionino quando la temperatura esterna scende sotto lo zero; timore che il cibo cucinato coi fornelli elettrici non renda allo stesso modo di quello cucinato coi fornelli tradizionali. Tutte queste paure e sensi di perdita relativi alla transizione sono alimentati da un grande minimo comun denominatore: la disinformazione e i falsi miti.

- Fallacia dei costi sommersi e time discounting: la prima si verifica quando ci si ostina a continuare una certa attività o a perseguire un certo modo di vivere, anche quando ormai appare chiaro che tutto ciò che si sta facendo non è più proficuo, perché si sono già investite molte risorse, soprattutto economiche, nelle alternative più vantaggiose. Il secondo effetto invece si riferisce alla tendenza a preferire una ricompensa più piccola subito nell'immediato che una magari anche più grande nel futuro. Questi *bias* si legano alla resistenza all'elettrificazione nei seguenti modi: si è già investito in *appliances* a gas molto costose e quindi si rifiuta l'idea di fare un turnover più ecologico nell'immediato o nel prossimo futuro; si tende a minimizzare i notevoli risparmi derivanti da una casa *all-electric* negli anni successivi che presenta costi operativi molto inferiori, focalizzandosi solo sui costi di transizione che derivano dallo switch di tecnologia.

Tra le propensioni cognitive, si intende per euristica l'insieme di strategie e procedimenti inventivi per considerare gli argomenti adeguati a risolvere un dato problema. La ricerca ha messo in evidenza molte euristiche diverse che possono aiutare a identificare ragioni cosce e inconscie che portano a scelte avverse al cambiamento. La conoscenza di questi meccanismi comportamentali può aiutare a scegliere in modo adattativo³:

- Euristica del satisficing: per la quale si tende a valutare ogni alternativa e a scegliere la prima che consenta di raggiungere un obiettivo sufficientemente soddisfacente in tempi non troppo prolungati e in modalità semplici.
- Euristiche basate su una ragione: esistono modalità di scelta veloce basate sulla selezione della opzione, analizzando una ragione alla volta e selezionando sottoinsiemi sempre più ristretti di alternative. Si tratta della euristica lessicografica e di quella "*elimination by aspect*". In questo modo l'accettazione dell'innovazione a basse o zero emissioni potrebbe avvenire sulla base di poche ragioni salienti.
- Euristica della imitazione: la condotta e l'opinione altrui (in particolare di familiari, amici, influencer, leader politici, etc.) riguardo tutte le attività di risparmio energetico finiscono per influenzare la nostra opinione. Agire sul cambiamento dell'imitazione sociale può essere molto utile per innescare una reazione positiva al cambiamento (si parla di "effetto del vicinato"), che spesso genera all'interno delle persone un meccanismo di specularità che porta a imitare il comportamento dei più, se emerge effettivamente la possibilità di confrontare la propria attività con quella degli altri.

Suggerimenti di “nudge”

Per capire quali stimoli comportamentali siano più efficaci a stimolare il passaggio all'elettrico è opportuno iniziare con un questionario che sondi le variabili di tipo sociodemografico: sesso, età, occupazione, livello di istruzione, reddito, dimensione della casa, numero di abitanti della casa, presenza di appliances elettriche e gas, quota mensile in bolletta destinata al gas e alla luce (aiutando con opportuni *nudge*³⁷ i clienti a riportare i dati giusti)

In secondo luogo, dal momento che si vuole capire come si può intervenire per influenzare gli utenti a considerare di elettrificare il più possibile i propri consumi, è opportuno adottare una logica di ricerca improntata alla proiezione di scenari di scelta multipla, attraverso i quali il rispondente, a partire da una serie di dati e informazioni (che possono essere dei *nudge* informativi), effettua una scelta tra appliances elettriche e gas comparando i costi e i benefici ambientali ed economici di ogni singola scelta.

L'ideale sarebbe giungere a uno strumento integrato sul portale dei gestori o sulla sua applicazione che funga da calcolatore dei costi: uno strumento digitale di “*Make the switch*” in cui si illustrano, in base alle dimensioni della propria abitazione e in base all'opzione di A) rinnovare casa o B) rimpiazzare *appliances* attuali (come caldaia, scaldabagno e piano cottura), quelle che sono le stime dei costi di rimpiazzo e le perdite negli anni (se si sceglie di proseguire con le appliances a gas) e i risparmi nel tempo che derivano dalla conversione a una casa più elettrica.

Nel settore energetico i *nudge* più efficaci e testati in USA, UK e Australia sono le newsletter personalizzate e l'opzione in bolletta di “vicinato”⁴: mostrare nella bolletta quali sono i tuoi consumi elettrici e di gas, accostandoli a quelli medi degli abitanti della tua zona può essere un modo per innescare potenzialmente l'effetto delle norme sociali. Questa strategia può spronare ad adeguare i propri consumi a quelli dei propri vicini, se questi ultimi hanno consumi più *green*; oppure spingere a investire di più in apparecchiature a basso consumo per essere il più “bravo” in risparmio energetico se i vicini consumano molto di più in termini di gas ed elettricità. L'introduzione in casa di rilevatori come l'Ambient Orb - una piccola sfera luminosa che diventa rossa quando il consumo è eccessivo e verde quando è accettabile - si è rivelata una modalità efficace che sfrutta il valore di cambiamento comportamentale dei *feedback*. L'introduzione di questo semplice dispositivo ha portato a un risparmio energetico fino al 40%⁵. Un altro meccanismo di successo è il *display* Watson che registra i nostri modelli di consumo e li confronta con quelli di altri utenti. Quando il confronto è principalmente con i vicini, il meccanismo di *feedback* insieme all'imitazione sociale diventano potenti correttori del comportamento⁶.

Ciò su cui sarebbe utile puntare a livello informativo, al di là dei necessari strumenti regolatori, potrebbe essere uno strumento informativo scaricabile dal web oppure

³⁷ Nell'economia comportamentale, con la parola inglese *nudge*, (Thaler and Sunstein, 2008) si intende una “spinta” o “pungolo” decisionale moderato che aiuti il ricevente a cambiare il proprio comportamento. I *nudge* sono di vario tipo e contribuiscono a configurare una architettura della scelta che spinge l'individuo a decidere al fine di migliorare il suo benessere e/o quello pubblico. Esistono due tipi di *nudge* in rapporto ai meccanismi mentali. Il primo tipo chiamato *nudge* S1 utilizza le attività del Sistema 1 della mente di tipo intuitivo, automatico, inconsapevole, veloce ed associativo. Il secondo tipo chiamato *nudge* S2 utilizza le attività del Sistema 2 della mente di tipo analitico, consapevole, lento, basato su regole (Viale, 2018; 2022 [1 e 2]).

come App: una guida su come elettrificare casa, riportando le comparazioni di costi e benefici e sottolineando la salienza della sostenibilità. Per essere davvero ancor più coerente, il gestore di energia dovrebbe anche illustrare in quella guida e anche sulla sua applicazione, o in bolletta, che il suo *brand* è sempre più sostenibile e che è in prima linea nella generazione di elettricità da fonti rinnovabili (e ovviamente sempre meno da combustibili fossili).

Il gestore potrebbe mettere nell'app una sezione con tutti gli incentivi statali per l'elettrificazione dei consumi (anche auto elettriche) ed efficienza energetica domestica. È importante che il gestore informi i cittadini che esistono incentivi governativi per aiutare il cambiamento verso la sostenibilità.

¹ Viale, R. (2018). Oltre il Nudge. Bologna: Il Mulino

² Viale, R. (2022). Nudging. Cambridge Mass.: The MIT Press

³ Gigerenzer, G. and Gassamaier, W. (2011). <<Heuristic Decision making>>, The Annual Review of Psychology, 62: 451-82

⁴ Thaler, R., and Sunstein, C. (2008). Nudge. London: Penguin.

⁵ Viale, R. (2022). Nudging. Cambridge Mass.: The MIT Press

⁶ Thaler, R., and Sunstein, C. (2008). Nudge. London: Penguin.

CAPITOLO 7

Abbinare mitigazione e adattamento: spazi verdi e nature-based solutions

Prof.ssa Alessandra Bonoli

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna

Prof.ssa Paola Mercogliano

Divisione di ricerca Modelli Regionali ed Impatti geo-idrologici (REMHI), Fondazione CMCC

Prof.ssa Sara Cattaneo

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano e ITC-CNR

Prof. Sergio Malcevschi

CATAP (Coordinamento Associazioni Tecnico-scientifiche per l'Ambiente ed il Paesaggio)

Prof. Giulio Senes

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Milano

Verde urbano e gestione delle isole di calore

Le città vedono verificarsi nel proprio territorio molte manifestazioni del fenomeno dell'antropizzazione, dando spesso una rappresentazione concreta e reale dell'attuale crisi ambientale e climatica.

Sono pertanto numerose le sfide che le comunità devono affrontare all'interno dei centri urbani, tra le quali emergono l'aggravarsi del fenomeno microclimatico delle isole di calore urbano ma anche il riscaldamento e il condizionamento civili che, insieme al traffico veicolare urbano, emettono inquinanti atmosferici e acustici e alterano di conseguenza le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'area.

Queste circostanze delineano in modo chiaro un quadro di emergenza ambientale a cui le città devono rispondere con attività di adattamento più decise, intervenendo con adeguati strumenti di pianificazione per trovare soluzioni sostenibili ed economicamente convenienti che siano in grado di mitigare i diversi problemi ambientali urbani attuali e attesi nei prossimi anni.

Il verde urbano, inteso come *"l'insieme delle componenti biologiche che concorrono a determinare l'impronta funzionale e paesaggistica di un centro abitato in equilibrio ecologico col territorio"*¹, rappresentando una delle soluzioni decisive per incrementare il livello di qualità della vita, è da considerarsi un bene di interesse comune che esplica diverse funzioni utili per l'ambiente urbano e per i cittadini.

Se progettato in maniera adeguata e gestito secondo le esigenze specifiche di ogni territorio, il verde urbano può produrre molteplici benefici, i cosiddetti servizi

ecosistemici, con effetti favorevoli su microclima, qualità dell'aria, stabilità del suolo, gestione delle acque, attenuazione del rumore e contribuendo alla necessaria resilienza urbana rispetto ai rischi attuali connessi al cambiamento climatico.

Incorporare le infrastrutture verdi nei progetti residenziali e commerciali comporta molteplici vantaggi in termini di consumi e risparmio delle risorse naturali, di accresciuta qualità di vita e di aumentato valore e prestigio delle aree edificate, che risultano così "riqualificate" da una loro dotazione verde. A sottolinearlo un importante studio², realizzato già alcuni anni fa per la municipalità di New York, nel quale si dimostrava come gli investimenti in infrastrutture verdi, quali ad esempio tetti e pareti vegetali, pavimentazioni drenanti e sistemi di raccolta dell'acqua piovana, siano in grado di creare valore per gli immobili commerciali e residenziali e per l'intera città.

Questo tipo di soluzioni ha la potenzialità di riqualificare interi quartieri urbani, rendendoli più salubri e vivibili, a partire dalla qualità dell'aria e dalla riduzione del fenomeno dell'isola di calore urbano, il quale determina una differenza considerevole tra le temperature urbane e quelle delle zone circostanti, dalla periferia di una città alle zone rurali, con temperature medie dell'aria di diversi gradi superiori (in modo strettamente dipendente dalle caratteristiche del contesto urbano) rispetto a quella dei dintorni³. Inoltre, esso determina nei centri delle città, dove ristagna una cappa d'aria surriscaldata, uno strato di circa 200-300 metri di spessore che nelle giornate estive trasforma le città in luoghi insospitati e con gravi disagi per la salute (ad esempio, il mancato abbassamento delle temperature notturne sotto una certa soglia determina rilevanti disagi fisiologici soprattutto per la popolazione più vulnerabile, come anziani e bambini).

Sono diverse le cause di questo fenomeno: il calore generato dalla popolazione che vive in città tramite traffico, le industrie cittadine e il riscaldamento, ma anche la ridotta capacità di edifici e strutture presenti in area urbana di riflettere la radiazione solare ed il calore. In particolare, le cosiddette coperture "grigie" (calcestruzzi e cementi, materiali impermeabili, ecc.) assorbono in media il 10% in più di energia solare rispetto alla copertura vegetale della campagna⁴. La perdita di vegetazione urbana, quindi, è fattore rilevante nel determinare l'isola di calore. Nelle aree rurali gli alberi e la vegetazione creano zone d'ombra che aiutano a mantenere bassa la temperatura di superficie e la temperatura dell'aria viene ridotta grazie al processo di evapotraspirazione delle piante che, rilasciando vapore acqueo, dissipano calore nell'aria circostante.

Le infrastrutture verdi, riconosciute dall'Unione europea come azioni utili per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, sono un insieme di soluzioni tecniche interconnesse che utilizzano processi naturali e possono rappresentare una soluzione efficace e dare un contributo importante all'adattamento urbano.

In particolare, i tetti verdi sono uno strumento utile proprio per mitigare le ondate di calore estive e specificamente l'effetto isola di calore dovuto alle proprietà termiche dei materiali da costruzione, alla massa termica degli edifici, alla mancanza di zone permeabili e alla diminuzione dell'albedo. I tetti verdi, grazie all'effetto di evapotraspirazione delle piante e ai materiali stessi, più riflettenti e che assorbono meno flusso termico rispetto ai tetti tradizionali, mantengono una temperatura superficiale più bassa. Alcuni studi dimostrano l'effettiva relazione tra dimensione di aree verdi e mitigazione delle temperature e il relativo risparmio energetico indiretto:

a New York si riscontra una differenza nella temperatura media di 2°C tra zone con spazi verdi e zone ad alta densità della città⁵ e a Toronto si stima che se fossero realizzati tetti verdi sul 50% dei tetti piani disponibili si otterrebbe una riduzione della temperatura media cittadina tra 0.5 e 2°C, con un conseguente risparmio energetico per anno di circa a 2.37 kWh/m² e relativo risparmio economico⁶.

In scala di edificio, le coperture verdi migliorano il comfort, garantendo un maggior isolamento termico con temperature meno rigide in inverno e meno caldo in estate, con conseguente riduzione dei costi di riscaldamento e raffrescamento. Inoltre, mantenendo contenute le temperature dell'ambiente circostante, se abbinate a impianti fotovoltaici queste coperture contribuiscono a una miglior resa energetica degli stessi. L'efficienza di un pannello fotovoltaico si riduce infatti di 0.5% per ogni grado di surriscaldamento quando la sua temperatura supera i 25 gradi centigradi. Un tetto verde rende dunque i pannelli fotovoltaici più efficienti e produttivi, contribuendo a una maggior redditività dell'impianto.

Le tecnologie verdi sono state impiegate in Svizzera e Gran Bretagna, fin dai primi anni Ottanta, inizialmente per esigenze di risparmio energetico e di conservazione della biodiversità, e poi oggi sempre maggiormente con funzioni di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici. Basilea, Sheffield, Londra, Copenhagen, Rotterdam, Amsterdam, Stoccarda, Berlino sono solo alcune delle città europee che da tempo hanno avviato dei veri e propri programmi di intervento, con incentivi per soggetti pubblici e privati, mirati all'estensione delle coperture verdi sul nuovo costruito e sulla riqualificazione di edifici esistenti.

Di seguito, vengono riportate alcune *best practice* a livello internazionale.

- la municipalità di New York da anni ha investito in infrastrutture verdi, come soluzione di adattamento ai rischi del cambiamento climatico. L'edificio delle Poste di Manhattan (*Morgan Processing and Distribution Center*) ospita un esteso tetto verde, di circa un ettaro di superficie, che apporta, fra gli altri, i seguenti vantaggi: una riduzione delle infiltrazioni di acqua del 75% di estate e del 40% di inverno e un risparmio dei consumi energetici dell'edificio, in particolare per il raffrescamento estivo;
- a Toronto ogni edificio di nuova costruzione con tetto piano maggiore di 200 m² deve avere almeno una parte del tetto a verde. La legge è stata chiamata "*Green Roof by Law*". L'*Eco Roof Incentive Program* della città di Toronto prevede incentivi di 75 dollari/m² con un massimo di 100 mila dollari;
- a Tokyo si esige invece che tutte le costruzioni che occupano un'estensione maggiore di 929 m² di terreno debbano avere almeno il 20% della superficie del tetto a verde⁷;
- Barcellona, per volere della sindaca Ada Colau Ballano, si è recentemente dotata di un importante piano per il verde e la biodiversità, un approccio strutturato e articolato per la costruzione di una solida infrastruttura verde e blu all'interno del tessuto urbano⁸. Il piano si impegna a preservare e valorizzare il patrimonio naturale presente, inteso come bene comune della città, attraverso la definizione di diverse linee di azione per fornire ai cittadini servizi di tipo ambientale e sociale, portando sempre di più la natura in città e connettendo la città con il territorio circostante; viene inoltre sottolineato il

ruolo attivo che devono avere i cittadini nella cura del patrimonio naturale, per consentire loro di trarre vantaggio e di godere di quei servizi ecosistemici;

- da ultimo, l'azione politica sensibile alle problematiche ambientali e di benessere urbano della sindaca Hidalgo, fin dal 2016, ha avviato a Parigi una importante promozione del verde, pubblico e privato, autorizzando e incoraggiando la realizzazione di giardini e orti urbani⁹. Si tratta di circa cento ettari di superfici urbane, con particolare riferimento a tetti e facciate, dedicate a nuovi spazi verdi, di cui un terzo trasformato in orti urbani.

La presenza di aree verdi in ambito urbano può dunque efficacemente contribuire alla diminuzione della temperatura su scala locale. La condizione indispensabile per l'ottimizzazione dell'effetto mitigatorio è però l'integrazione del verde, anche in piccola scala (quartieri, singoli edifici), con la struttura urbana, al fine di ottenere un rapporto bilanciato tra verde e costruito. L'apporto dato da una pianificazione sostenibile può portare ad un considerevole miglioramento delle condizioni microclimatiche urbane e il conseguente miglioramento del benessere dei cittadini.

Benefici attesi dall'utilizzo del verde urbano per la gestione del fenomeno dell'isola di calore¹⁰

Abbassamento delle temperature durante le diverse ore del giorno e della notte durante la stagione estiva dalla scala urbana fino a quella a scala di edificio.

Risparmio energetico per mancato utilizzo degli impianti di climatizzazione.

Diminuzione del rischio di malessere dovuto alle ondate di calore estivo.

Benefici attesi dall'incremento di aree verdi a scala urbana

Mitigazione dell'inquinamento acustico.

Miglioramento della qualità dell'acqua.

Miglioramento della qualità dell'aria (rimozione di inquinanti e polveri sottili dall'atmosfera).

Miglioramento della biodiversità urbana.

Aumento del valore estetico e del senso di benessere.

Diminuzione dell'inquinamento elettromagnetico.

Benefici attesi dall'incremento di aree verdi a scala dell'edificio

Riduzione locale dell'inquinamento acustico.

Protezione e prolungamento della vita utile della guaina impermeabile del tetto.

Aumento dell'efficienza prestazionale degli impianti fotovoltaici.

Benefici sociali legati all'incremento del verde urbano¹¹

Riduzione del rischio incendi e relativi danni.

Diminuzione del rischio di malattie respiratorie.

Diminuzione del rischio di malessere dovuto alle ondate di calore estivo.

Opportunità di didattica ambientale.

Opportunità per orti urbani.

Creazione di spazi di socialità.

Tabella 3: benefici legati all'aumento del verde urbano

In sintesi, al fine di promuovere l'incremento delle aree verdi in ambiente urbano, si propone:

- l'ideazione di campagne di comunicazione sulle problematiche ambientali dei centri urbani e sull'importanza di attuare interventi che contribuiscano alla resilienza urbana e alla mitigazione dei cambiamenti climatici;
- la promozione di coperture verdi, abbinata a impianti fotovoltaici, sugli edifici pubblici e privati;
- la previsione di incentivi diretti e indiretti all'edilizia privata, sia per il nuovo costruito che per la riqualificazione dell'esistente;
- la dotazione di tetti verdi sulle pensiline degli autobus, sulle coperture dei posteggi pubblici e di aree commerciali.

Deimpermeabilizzazione delle superfici urbane

Un'altra criticità presente nel contesto urbano è quella legata al largo utilizzo di pavimentazioni stradali tradizionali, tipicamente impermeabili. L'accumulo di acqua sul manto stradale durante le precipitazioni, infatti, da un lato diminuisce la resistenza allo scivolamento, con conseguente minore aderenza dei veicoli e aumento di rischio di incidenti, dall'altro riduce la durabilità della superficie stradale soggetta a ristagni. Inoltre, nel caso di eventi estremi, qualora la superficie impermeabile sia particolarmente estesa (ad es. nei centri urbani), il deflusso dell'acqua può essere problematico e causare allagamenti, inondazioni e gravi danni alle persone e alle cose¹².

Proprio a causa di queste problematiche, negli ultimi decenni sono stati sviluppati materiali/tecnologie e soluzioni mirati a migliorare il deflusso dell'acqua, condizione essenziale per evitare problemi di sicurezza (scivolosità della superficie), di durabilità (ristagni di acqua) e ridurre l'impatto a terra di precipitazioni intense. Inoltre, il controllo del deflusso dell'acqua, può consentire il recupero delle acque meteoriche, al fine di un loro riciclo, mitigando l'inquinamento.

In questo caso le *green streets* (strade il cui progetto prevede una serie di interventi tesi a creare spazi verdi mirati a migliorare la transitabilità ai pedoni e la fruibilità degli spazi aperti ¹³), ad esempio, laddove applicabili nel contesto urbano, sono soluzioni valide sia per la deimpermeabilizzazione sia per dotare la città di infrastrutture verdi con molteplici ulteriori benefici. Infatti, esse sono utili nella riduzione dell'impatto delle precipitazioni estreme (grazie alla capacità di trattenere il deflusso delle acque piovane) e allo stesso tempo contribuiscono a ridurre l'isola di calore urbano e a migliorare la qualità dell'aria, determinando un incremento delle superfici verdi. Pertanto, sono utili per la mitigazione del cambiamento climatico, per ridurre l'inquinamento ambientale, per favorire la creazione di *habitat* naturali a favore della biodiversità. Diversi studi inoltre indicano come le strade verdi, integrate in una rete di parchi e spazi verdi, possano stimolare benefici fisici e psicologici per i residenti: favorendo, infatti, l'attività fisica sono un utile strumento del contrasto a malattie causate da uno stile di vita sedentario e sono di stimolo per la mobilità attiva. Le più recenti ricerche hanno anche mostrato come favoriscano il benessere psicologico, migliorino la coesione sociale e il contesto ricreativo urbano.

La progettazione delle strade verdi richiede sicuramente un'elevata attenzione ai costi di manutenzione e gestione e un'accettazione da parte della cittadinanza al fine di garantire il mantenimento di tutte le sue funzionalità e benefici.

Spesso, inoltre, a causa degli spazi limitati tipici delle città italiane, la creazione di strade verdi richiede soluzioni che prevedano, ad esempio, la variazione del traffico

veicolare e/o l'eliminazione di parcheggi a raso. Queste operazioni potrebbero generare problematiche di carattere economico-sociale. Se le strade verdi fossero limitate, ad esempio, a piccole aree potrebbero generare alcune problematiche connesse all'accesso agli operatori commerciali posizionati lungo le vie stesse (che risulterebbero penalizzati rispetto agli operatori con parcheggi limitrofi). Viceversa, una pianificazione su scala urbana che preveda un'ampia estensione delle aree con *green streets*, connessa con l'estensione delle piste ciclabili, porterebbe un grande vantaggio anche in termini di riduzione del traffico veicolare.

Per le aree in cui le strade verdi non siano implementabili si possono identificare tre macro-tipologie di pavimentazioni caratterizzate da buona permeabilità: asfalti drenanti, pavimentazioni permeabili, calcestruzzo drenante.

Gli asfalti drenanti, ormai molto diffusi sulle strade ad alto scorrimento, riducono la problematica della scivolosità del manto stradale e possono avere caratteristiche di fonoassorbimento, ma al tempo stesso potrebbero presentare problematiche relative ad una minore durabilità legata all'acqua presente nei pori del materiale.

Tra le pavimentazioni permeabili si possono individuare diverse tipologie in particolare le cosiddette pavimentazioni a blocchi (in genere di calcestruzzo) e a griglia (che possono prevedere anche la presenza di verde). Questa soluzione è ormai diffusa da anni soprattutto nelle aree di parcheggio, caratterizzate da una vasta estensione e pertanto da un elevato accumulo di volume di acque meteoriche e di sostanze inquinanti (metalli pesanti, idrocarburi...).

L'impiego di calcestruzzo drenante per pavimentazioni stradali è relativamente recente in Italia, in quanto solo negli ultimi anni la capacità portante raggiunta da questa tipologia di calcestruzzo, caratterizzato dall'assenza di aggregati fini, ne consente l'uso per applicazioni con carichi elevati, mentre applicazioni per piste ciclabili o strade senza traffico pesante sono più datate.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati, per tutte le categorie di strade, anche soluzioni "eco-sostenibili" che prevedono diversi accorgimenti mirati a limitare l'impatto ambientale delle materie prime (con impiego anche di materiali di riciclo, materie prime di origine locale, ecc.) e l'impiego di pigmenti che riducano l'effetto "isola di calore" o per fini estetici.

Recentemente le pavimentazioni in calcestruzzo drenante sono quelle che paiono le più promettenti dal punto di vista della sostenibilità ambientale, se ben progettate e impiegando calcestruzzi con un opportuno *mix-design* (si veda la sezione precedentemente dedicata alla sostenibilità dei materiali).

La scelta di una soluzione rispetto all'altra dipende da una serie di fattori sui quali si rimanda alla letteratura tecnica^{14, 15, 16}. Certamente, in assenza di vincoli idrogeologici, le superficie ampie (parcheggi, piazzali, ecc.) presentano minori restrizioni nella scelta di pavimentazione rispetto a strade con traffico pesante.

Quale sia la soluzione preferibile si dovranno comunque prediligere tecnologie che prevedano il minor impatto ambientale durante tutto il ciclo di vita.

La sostenibilità dell'intera pavimentazione dipende inoltre dalla quantità (spessore della pavimentazione) e dal tipo di materiali utilizzati per ottenere le prestazioni attese. Possono essere infine realizzate pavimentazioni con effetto disinquinante mediante l'aggiunta di prodotti fotocatalitici (a base di biossido di titanio) che, oltre

a ottenere superfici più chiare, sono in grado di abbattere sostanze inquinanti come ossidi di azoto e sostanze organiche volatili.

In sintesi, i vantaggi della deimpermeabilizzazione delle superfici, indipendentemente dalla soluzione adottata (strade verdi, pavimentazioni drenanti, pavimentazioni a griglia, pavimentazioni in calcestruzzo drenante), si possono sintetizzare in:

- mitigazione dell'impatto a terra in caso di precipitazioni intense;
- mitigazione dell'effetto isola di calore (in particolar modo nel caso di strade verdi, e di pavimentazioni con colorazioni chiare);
- mitigazione dell'inquinamento acustico;
- miglioramento della qualità dell'aria (rimozione di inquinanti nell'atmosfera);
- possibilità di riciclo dell'acqua.

Urban nature-based solutions e innovazione

L'uso di *NBS (Nature-Based Solutions)* e di un approccio ecosistemico può produrre vantaggi sostanziali su più piani ai fini degli obiettivi della neutralità carbonica e del massimo contenimento degli impatti climatici critici sulle città.

Nell'ultimo decennio, il tema delle soluzioni basate sulla natura è stato oggetto di un'attenzione sempre maggiore da parte degli organismi europei ed internazionali che si occupano di transizione verde^{17,18,19,20,21,22}.

Dal punto di vista storico, il tema costituisce la prosecuzione di un cospicuo insieme di tecniche e azioni utilizzate nel campo della progettazione e della pianificazione, esistenti già da decenni nei campi dell'ingegneria naturalistica, delle infrastrutture verdi-blu (con la specifica [Strategia europea del 2013](#))²³, delle reti ecologiche come strumento a supporto di molte pianificazioni territoriali regionali e provinciali italiane, alcune con un'impostazione polivalente per le soluzioni ecosistemiche attese (un [esempio](#) relativo alla Regione Lombardia).

Le infrastrutture verdi sono definite dalla Commissione europea come "una rete di aree naturali e seminaturali pianificata a livello strategico con altri elementi ambientali, progettata e gestita in maniera da fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici. Ne fanno parte gli spazi verdi (o blu, nel caso degli ecosistemi acquatici) e altri elementi fisici. Sulla terraferma, le infrastrutture verdi sono presenti in un contesto rurale e urbano".

La caratteristica fondamentale dell'infrastruttura verde è la sua multifunzionalità, cioè la sua capacità di fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici. Le infrastrutture verdi rappresentano quindi un nuovo approccio sistemico e trasversale allo sviluppo urbano e territoriale, invertendo la logica settoriale e spesso marginale relegata al verde urbano.

In concreto, è opportuno che le città, nella pianificazione, progettazione e gestione del verde, si attivino per:

- aumentare la superficie a verde e l'area coperta dalle chiome arboree, favorendone al contempo una più equa distribuzione tra le diverse aree della città;

- aumentare la biodiversità del verde pubblico, incentivando l'uso di specie vegetali autoctone coerenti con le caratteristiche ecologiche del territorio;
- creare l'infrastruttura verde attraverso la riconnessione degli spazi verdi urbani e periurbani in funzione della "domanda" di servizi ecosistemici, integrandola con la mobilità attiva e riducendo l'impermeabilizzazione del suolo;
- realizzare un sistema di monitoraggio della quantità e qualità dell'infrastruttura verde con la misurazione dei servizi ecosistemici forniti.

Le città sono chiamate a definire un sistema integrato di infrastrutture verdi complementari tra loro che siano supportate di appositi finanziamenti e/o agevolazioni (finanziarie o fiscali). Tra gli strumenti finanziari si possono annoverare anche i cosiddetti *Environmental Impact Bond* che, a partire da quello emesso dal *District of Columbia Water and Sewer Authority* nel 2016, sono stati sperimentati anche in altre realtà (es. Buffalo, Atlanta, New Orleans, Memphis, ecc.), dimostrando la capacità delle infrastrutture verdi di generare un ritorno economico e non solo ambientale.

Negli ultimi anni si è sempre più usato a livello internazionale il termine *Nature Based Solutions (NBS)*, partendo dalle proposte dell'IUCN del 2012²⁴ e della Commissione europea del 2015²⁵ che possono essere descritte, secondo la definizione dell'Assemblea delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEA) come le "azioni per proteggere, conservare, ripristinare, utilizzare e gestire in modo sostenibile gli ecosistemi naturali o modificati dall'uomo [...], che affrontano le sfide sociali, economiche e ambientali in modo efficace e adattativo, fornendo allo stesso tempo benessere all'uomo, servizi ecosistemici, benefici per la resilienza e la biodiversità".

Procedendo quindi a un approfondimento delle potenzialità di questo approccio rispetto alla *Mission* delle nove città, la finalità di una neutralità climatica intesa in senso complessivo prevede l'integrazione di più obiettivi generali, ovvero la decarbonizzazione (eliminazione delle emissioni di GHG in atmosfera ed assorbimento del carbonio sul territorio) e il tamponamento degli impatti climatici critici sulle città, ciascuno dei quali può essere aiutato dalle NBS. A questi si aggiungono lo sfruttamento di benefici eco-sociali concomitanti e, più in generale, il miglioramento della capacità di adattamento ai cambiamenti climatici in corso e della resilienza complessiva del sistema.

I servizi ecosistemici prodotti dalle NBS (tamponamento di stress da calore, accumulo di carbonio stabilizzato sul territorio ecc.) rispondono in modo diverso e complementare a tali obiettivi generali, con *performance* altamente perseguibili o comunque integrabili, come sintetizzato dal quadro seguente.

Il sistema complessivo dei flussi e relazioni in gioco (Figura 9) richiede che, ai fini del raggiungimento della neutralità climatica, le NBS debbano essere applicate non solo nelle città (con le loro attività emissive e gli interventi che ne modificano la struttura) ma anche nel contesto eco-territoriale interagente (fasce periurbane, sistema esterno in grado di produrre interazioni bio-fisiche con la città stessa).

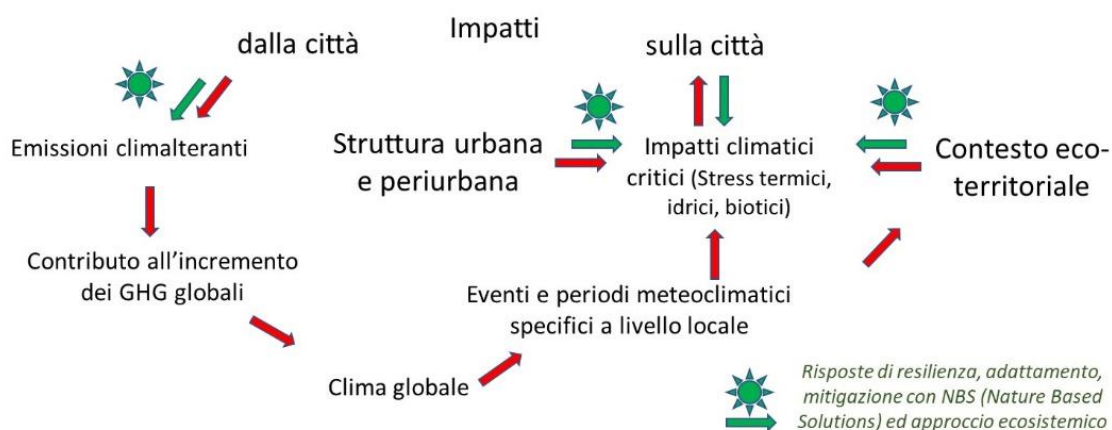


Figura 9: Punti di intervento delle NBS rispetto allo schema generale dei flussi alla base degli impatti climatici sulle città; si evidenzia anche la necessità di una considerazione contestuale del contesto eco-territoriale interagente

Rispetto alle macro-strategie internazionali di risposta ai cambiamenti climatici (mitigazione e adattamento) le soluzioni NBS possono in definitiva:


- contribuire alla mitigazione delle pressioni climalteranti riducendo il carbonio emesso in atmosfera, attraverso sottrazioni (riducendo le emissioni dall'agricoltura, silvicoltura e altre attività, partecipando ad efficientamenti energetici, producendo effetti positivi sui consumi per riscaldamento/raffreddamento) e sostituzioni (fornendo energie rinnovabili a ciclo locale), considerando comunque che la prospettiva finale della neutralità climatica rimane quella di un bilancio netto del carbonio tra emissioni residue e suoi assorbimenti dal sistema eco-territoriale; in tal senso l'incontro con le nuove modalità di condizione dell'agricoltura urbana e periurbana può essere strategica;
- mettere a disposizione elementi strutturali (urbani, periurbani, del contesto interagente) essenziali per il contenimento di stress (termici, idrici, idrogeologici, biotici) prodotti da alterazioni climatiche, migliorando la resilienza del sistema sui singoli eventi e su cambiamenti resisi permanenti sul medio e lungo periodo (adattamento);
- fornire vantaggi integrativi (riduzione dell'inquinamento atmosferico, migliorando l'ambiente di vita quotidiana dei cittadini, ecc.) atti a migliorare la resilienza complessiva del sistema rispetto ai rischi futuri e migliorando così l'accettabilità delle politiche volte alla neutralità climatica da parte delle cittadinanze e le possibilità di un suo coinvolgimento.

Le soluzioni NBS possibili sono molteplici, reciprocamente integrabili, polivalenti nei servizi ecosistemici raggiungibili e costituiscono ormai un cospicuo insieme di tecniche messe a punto nel corso degli ultimi decenni nei campi dell'ingegneria naturalistica, delle reti ecologiche, delle infrastrutture verdi-blu, dell'architettura del paesaggio. Esse hanno già avuto un ampio (anche se finora frammentato e disorganico) utilizzo nel campo della progettazione e della pianificazione in Italia. Sulla base di tali esperienze, un quadro sintetico di quelle più direttamente rilevanti per le città, realizzabili in ambito urbano e periurbano, è indicato nella Tabella 19. Per molte categorie di interventi gli obiettivi progettuali primari coincidono con singoli servizi attesi, ma la natura stessa delle NBS richiede (approccio ecologico) il

raggiungimento di funzionalità ecosistemiche molteplici e reciprocamente integrate per essere effettivamente performanti. Occorrerà quindi che i progetti identifichino gli obiettivi complementari raggiungibili, ottimizzando per quanto possibile il *mix* multifunzionale ottenibile con le scelte tecniche del caso. Si fornisce di seguito un quadro di riferimento (Tabelle 19 e 20), che sintetizza il cospicuo lavoro già svolto negli anni scorsi in molteplici sedi nel campo delle reti ecologiche polivalenti²⁶, del capitale naturale²⁷, delle infrastrutture verdi²⁸, dei manuali dedicati²⁹.

#	Servizi Nature Based Solutions	Decarbonizzazione		Tamponamento di impatti climatici locali	Benefici ambientali e sociali aggiuntivi	Adattamento e resilienza del sistema
		Riduzione di emissioni GHG	Assorbimento di carbonio			
S1	Tamponamento di stress da calore					
S2	Accumulo di carbonio in biomasse stabili e suolo					
S3	Potenziali fonti di bioenergie rinnovabili sostenibili					
S4	Protezione da inquinamento atmosferico					
S5	Protezione da altri fattori di degrado di acqua, suoli, rumore					
S6	Protezione in caso di eventi meteorici critici					
S7	Contributi positivi ad habitat e biodiversità					
S8	Contributi positivi alla qualità della vita umana (benessere, salute e cultura)					

Legenda

 Obiettivi altamente conseguibili



 Obiettivi comunque integrabili

Tabella 19: Servizi ecosistemiche delle NBS in ambito urbano, rispetto agli obiettivi generali rilevanti per la neutralità climatica

 Obiettivi progettuali primari

















 Obiettivi progettuali complementari

INTERVENTI BASATI SULL'USO DI NBS

Servizi ecosistemiche attesi

Elementi verdi laterali ad infrastrutture

S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8

File e gruppi di alberi a lato di strade cittadine								
Viali alberati cittadini								

Fasce verdi a lato di grandi infrastrutture stradali								
Fasce di pertinenza di infrastrutture ferroviarie								

Spazi verdi urbani

S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8

Parchi ricreativi pubblici								
Aree verdi di interesse storico-culturale (archeologiche ecc.)								
Giardini e parchi privati								
Pertinenze a suolo libero di edifici								
Nuove aree di forestazione urbana polivalente								

Recuperi di aree degradate

S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8

Ricostruzioni di suolo e verde da dismissioni di aree impermeabilizzate								
Recuperi polivalenti di aree decorticate (cantieri, cave)								
Recuperi "verdi" in bonifiche di aree contaminate								
Recuperi "verdi" in rigenerazioni di aree produttive dismesse								
Riqualificazione di aree incolte degradate								

Elementi "verdi" specializzati

S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8

Opere di ingegneria naturalistica per il consolidamento di suoli e versanti								
Tetti verdi (intensivi ed estensivi)								
Tetti verdi con assorbimento di acque piovane								
Coperture verdi verticali di facciate								
Barriere anti-rumore vegetate								
Monumenti e costruzioni verdi								
Elementi vegetali mobili								
Opere specifiche per la fauna (sottopassi, ecodotti, ecc.)								
Supporti specifici per la fauna (posatoi, ecc.)								

Interventi per il miglioramento dei cicli locali dell'acqua

S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8

Aiuole per la raccolta ed assorbimento di acque piovane								
Giardini della pioggia								
Bacini di laminazione vegetati								
Sistemazioni delle fasce laterali a corsi d'acqua								

Impianti di fitodepurazione ed ecosistemi-filtro								
Altre azioni a finalità specifica	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Unità ambientali a supporto del recupero energetico (biometano) della frazione organica dei rifiuti								
Impianti periurbani di biomasse con produzione ecosostenibile di energia rinnovabile								
Siti di accoglienza di residui da manutenzione del verde (compostaggi, biochar)								
Agricoltura urbana e periurbana polivalente	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Orti urbani e periurbani								
Siepi e filari associati a coltivi periurbani								
Coltivazioni eco-sostenibili con prodotti a km0								
Fasce buffer tampone a lato di fossi e canali								
Prati polivalenti specializzati (impollinazione, biodiversità, ecc.)								
Ricostruzioni di paesaggi periurbani storici (marcite ecc.)								
Infrastrutture verdi/blu di connessione	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Corridoi ecologici								
Greenways polivalenti								
Cinture verdi urbane perimetrali								
Potenziamento di gangli di naturalità (core areas) esistenti rilevanti per le reti ecologiche locali								
Nuove unità ecosistemiche para-naturali specializzate (zone umide, cordoni dunali, ecc.)								

Tabella 20: Interventi basati sull'uso delle NBS in ambito urbano e periurbano, e livello di obiettivo progettuale prevedibile ai fini dei servizi ecosistemici attesi (S1-S8; vedi Tab. 19).

Un criterio per il governo del percorso verso la neutralità climatica delle città dovrebbe essere quello di dare massima priorità possibile alla diffusione di progetti rispettosi della biodiversità con soluzioni basate sulla natura e approcci basati sugli ecosistemi. È anche importante evidenziare le sinergie con altri criteri da osservare per superare punti di debolezza nelle fasi attuative verso la neutralità climatica nella realtà italiana.

Box 6: Ulteriori criteri di governo delle NBS

Criteri di governo ulteriori

Rispettare la qualità formale e identitaria degli interventi urbani.

Sinergie con il criterio di favorire le NBS e possibili punti problematici

Le NBS costituiscono di regola una componente qualitativamente positiva del paesaggio urbano e periurbano e potranno, debitamente realizzate e gestite, ridurre i conflitti da evitare tra "ambientalisti" del paesaggio e quelli delle energie rinnovabili.

Facilitare al contempo la circolarità e l'uso di tecnologie, materiali e tecniche costruttive pulite.	Le NBS funzionali sono quelle che contribuiscono a cicli locali virtuosi del carbonio e dell'acqua. Per definizione, essendo composte da elementi naturali, non impongono l'uso di materiali esogeni o potenzialmente pericolosi.
Garantire il carattere sistemico degli interventi e l'intersettorialità nella loro implementazione.	Le difficoltà storiche e tuttora esistenti in Italia nella programmazione pubblica e nelle prassi tecniche di progettazione degli interventi hanno costituito il problema principale per la realizzazione di NBS ed infrastrutture verdi polivalenti e complementari sul territorio.
Sfruttare per quanto possibile le opportunità dell'innovazione, con particolare attenzione a quelle offerte dagli strumenti digitali.	Molte delle NBS costituiscono l'attualizzazione di tecniche antiche. Il tema dell'innovazione tecnologica si pone comunque in alcuni settori particolari, nonché nella qualità dei flussi di informazione in sede di governance complessiva della neutralità climatica.
Garantire il pieno coinvolgimento e la partecipazione informata dei cittadini e delle comunità.	Nonostante la potenziale efficacia comunicativa delle NBS per i cittadini, il tema è ancora troppo sottovalutato nelle pratiche concrete da parte di attori decisivi (politici, tecnologi, agricoltori).

Alle città non sarà sufficiente realizzare qualche intervento NBS isolato e scarsamente funzionale entro il 2030. Sarà essenziale anche impostare il prima possibile i meccanismi di *governance* necessari a dimostrare la fattibilità della neutralità climatica completa entro il 2050, superando gli *handicap* attuali e sfruttando le occasioni offerte dagli atti istituzionali sull'adattamento. Si indicano a tal fine alcune azioni-quadro relative al campo in oggetto (NBS / Infrastrutture verdi e blu / Reti ecologiche locali).

Box 7: Programma di ricostruzione ecosistemica adattativa

Programma di ricostruzione ecosistemica integrata finalizzata alla neutralità climatica, alla resilienza, all'adattamento. Per superare l'attuale frammentarietà ed occasionalità dell'uso di soluzioni NBS e far sì che acquistino una organicità e massa critica sufficiente, necessarie per il raggiungimento di obiettivi di resilienza, adattamento e neutralità climatica, le città dovranno dotarsi in modo ordinario di un Programma di Ricostruzione Ecosistemica polivalente con la produzione di un quadro dinamico e periodicamente aggiornato delle diverse occasioni di uso di NBS.

Applicazione estesa delle "soluzioni di adattamento" previste ai fini del [Regolamento Delegato europeo C2021/2800](#)³⁰. L'Allegato I, Appendice A del Regolamento, indica che, tra i criteri da usare per poter giudicare "ecosostenibili" secondo la Tassonomia europea i progetti da finanziare "Per le attività esistenti e le nuove attività che utilizzano beni fisici esistenti, l'operatore economico attua soluzioni fisiche e non fisiche ("soluzioni di adattamento") ... che riducono i più importanti rischi climatici individuati che pesano su tale attività al momento della progettazione e della costruzione e provvede ad attuarle prima dell'inizio delle operazioni ... e prendono in considerazione il ricorso a soluzioni basate sulla natura (NBS) o si basano, per quanto possibile, su infrastrutture blu o verdi".

Si evidenzia come tale criterio sia stato ripreso in toto anche dalla Guida Tecnica del MEF per le valutazioni DNSH dei progetti finanziati sul PNRR.

Box 8: Adeguamenti delle progettazioni e della programmazione

Adeguamento ordinario dei progetti che implicano trasformazioni degli usi del suolo con una sezione dedicata all'inserimento nel contesto ed all'adattamento. Per facilitare la soluzione precedente occorre che ogni progetto finanziato preveda

ordinariamente al suo interno, sia nella sezione tecnica che nel quadro economico, un capitolo specificamente dedicato alle connessioni con il contesto in cui il contesto non resti solo come oggetto di analisi preliminari tradotte in cartografie tematiche; deve esserci una sezione progettuale specifica di "inserimento ambientale", nell'ecosistema e nel paesaggio, che comprenda le misure di resilienza ed adattamento da prevedere rispetto al contesto.

I contenuti tecnici della sezione dovranno utilizzare per quanto possibile NBS e, in caso di progetti di nuove infrastrutture, funzionare come interconnessione "verde-blu" con le reti ecologiche locali.

Adeguamento dei contenuti ordinari della programmazione tecnico-economica degli interventi sul territorio

La copertura economica delle soluzioni di cui al punto precedente deve essere prevista anche nella fase di programmazione economica pre-progettuale, in modo da non dar adito a possibili contestazioni di spese indebite.

A livello pianificatorio uno strumento specifico è quello costituito dai *Piani di Adattamento* che potranno prevedere insiemi di progetti specificamente finanziati (di rigenerazione urbana, di rinaturazione fluviale, ecc.). Occorre che la programmazione economica occorre renda disponibili risorse, mediante ad esempio:

- una quota parte destinata a specifici progetti rilevanti (es. di nuova forestazione urbana)
- *quote-parte* prefissate (ad esempio su base forfettaria) di quanto allocato su tutti i progetti di trasformazione da destinare a soluzioni di inserimento nel contesto e adattamento, in una logica di superamento del tradizionale meccanismo delle compensazioni (che non evitano la produzione di nuovi impatti negativi incompatibili con le prospettive di neutralità climatica);
- *una quota* ordinaria delle disponibilità complessive destinate al governo del territorio da mettere annualmente a disposizione per co-finanziare azioni puntuali, proposte da associazioni o singoli cittadini titolari di aree non costruite potenzialmente oggetto di azioni di interesse generale, capaci di contribuire alla neutralità carbonica e climatica della città.

Box 9: Altre possibili azioni quadro

Reti locali di Carbon sink collegate a spazi verdi ed agricoltura urbana e periurbana. Sarà importante che, come contributo agli obiettivi di neutralità climatica, il governo della città attivi ed implementi una rete locale di *carbon sink*, sfruttando le occasioni di servizio ecosistemico relativo potenzialmente fornite dagli spazi verdi e dall'agricoltura urbane e periurbana. L'ottica sarà anche quella di alimentare "cicli del carbonio sostenibili" come quelli previsti dalla [C \(2021\)800](#)³¹ della Commissione europea.

Gruppo di coerenza per un governo integrato del sistema locale ecosistema/paesaggio/territorio ai fini della neutralità climatica. Per ridurre il rischio legati alle interpretazioni soggettive si propone sin dalle prime fasi attuative della *Mission 100 Carbon-neutral cities@2030*, la creazione di un nucleo di coordinamento tra le città italiane selezionate (o almeno tra quelle di esse che accettino la proposta) per la definizione di criteri di coerenza nella trattazione integrata del sistema locale ecosistema/paesaggio/territorio (nel rispetto della nuova formulazione dell'art. 9 della Costituzione) ai fini del perseguimento della neutralità climatica.

-
- ¹ Linee guida per il governo sostenibile del verde urbano. Comitato per lo sviluppo del verde pubblico. MATTM, 2017.
- ² Clements, J. & Juliana, A. S. (2013). The Green Edge: How Commercial Property Investment in Green Infrastructure Creates Value. NRDC Issue brief. New York, New York.
- ³ Takebayashi, H., Moriyama, M., 2007. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment* 42 (8), 2971-2979.
- ⁴ EPA, 2008. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Urban Heat Island Basics
- ⁵ Carson, T.B., Marasco, D.E., Culligan, P.J. and McGillis, W.R. (2013) Hydrological Performance of Extensive Green Roofs in New York City: Observations and Multi-Year Modelling of Three Full-Scale Systems. *Environmental Research Letters*, 8, 36-48. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024036>. Environ. Res. Lett. 8 024036
- ⁶ City of Toronto, 2014, <http://www.toronto.ca/greenroofs>
- ⁷ Nature Conservation Ordinance is Greening Tokyo's Buildings (<https://www.c40.org/case-studies/nature-conservation-ordinance-is-greening-tokyo-s-buildings/>)
- ⁸ <https://forestami.org/2020/10/27/il-caso-barcellona-infrastrutture-verdi-come-elementi-strutturali-per-lo-sviluppo-della-citta/>
- ⁹ <https://www.ellededecor.com/it/viaggi/a34773554/parigi-verde-progetti/>
- ¹⁰ LiW.C.YeungK.K.A, 2014. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*. Volume 3, Issue 1, June 2014, Pages 127-134
- ¹¹ Dinetti M. 2017. Il verde e gli alberi in città. Documenti Lipu per la Conservazione della Natura n. 2. pp. 52.
- ¹² Center for watershed protection, Stormwater Management Guidebook, Sherry Schwechten, DDOE-Stormwater Management (2013), District of Columbia.
- ¹³ T. Blanusa, M. Vaz Monteiro, Green Streets: Classifications, Plant Species, Substrates, Irrigation, and Maintenance, Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability, Eds G. Perez, K. Perini, (2018), Elsevier.
- ¹⁴ L. Niehuns Antunes, E. Ghisi, L. Padilha Thives, Permeable Pavements Life Cycle Assessment: A Literature Review, *Water* 2018, 10, 1575; doi:10.3390/w10111575
- ¹⁵ S. A. Kalorea, G.L. Sivakumar Babua, R.B. Mallick, Design approach for drainage layer in pavement subsurface drainage system considering unsaturated characteristics, *Transportation Geotechnics* 18 (2019), 57-71
- ¹⁶ D.K. Hein, L. Schaus, Permeable pavement design and construction what have we learned recently?, ASCE Proc. Green Streets, Highways, and Development (2013).
- ¹⁷ EEA (European Environmental Agency), 2015 - Exploring nature-based solutions. The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards. Technical report No 12/2015. 66 p. <https://www.eea.europa.eu/publications/exploring-nature-based-solutions-2014>
- ¹⁸ IUCN (International Union for Conservation of Nature), 2016 - Nature-based Solutions to address global societal challenges. 114 p. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf>
- ¹⁹ European Parliament, 2017 - Nature-based solutions. Concept, opportunities and challenges. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/608796/EPRS_BRI\(2017\)608796_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/608796/EPRS_BRI(2017)608796_EN.pdf)
- ²⁰ IUCN (International Union for Conservation of Nature), 2020 - IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. 30 p. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf>
- ²¹ EEA (European Environmental Agency), 2021 - Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction . 154 p. <https://www.eea.europa.eu/publications/nature-based-solutions-in-europe/>
- ²² UNECE, 2021 - Nature-Based Solutions for Climate Adaptation. 12 p. https://unece.org/sites/default/files/2021-08/S2-2_MZandersen_Nature-based%20solutions%20for%20climate%20adaptation.pdf
- ²³ Commissione Europea, 2013 - Infrastrutture verdi. Rafforzare il capitale naturale in Europa. COM(2013) 249 final https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0005.03/DOC_1&format=PDF
- ²⁴ IUCN (International Union for Conservation of Nature), 2012 - 2012 IUCN Annual Report; Nature+, Towards Nature-based Solutions. 36 p. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2013-017.pdf>
- ²⁵ European Commission, 2015 - Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. 74 p. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202/language-en>
- ²⁶ Regione Lombardia, 2013 - Tecniche e metodi per la realizzazione della Rete Ecologica Regionale. 243 p. (<https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/325e1e9a-0cf2-4189-8f36-da30ccdb4295/Tecniche+e+Metodi+per+la+realizzazione+della+Rete+Ecologica+Regionale.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=325e1e9a-0cf2-4189-8f36-da30ccdb4295>)
-

²⁷ MITE (Ministro dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare), 2021 - Quarto rapporto sullo stato del capitale naturale in Italia, 324 p.
https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/CapitaleNaturale/TV_Rapporto_CN.pdf

²⁸ ASVIS, 2022 - Infrastrutture verdi urbane e periurbane. Position Paper. 38 p.
https://asvis.it/public/asvis2/files/Pubblicazioni/PositionPaperGdl11_InfrastruttureVerdi_FINAL.pdf

²⁹ UNALAB (Urban Nature Labs), 2019 - Nature Based Solutions – Technical Handbook. Part II. 114 p.
<https://unalab.eu/system/files/2020-02/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions2020-02-17.pdf>

³⁰ European Commission, 2021 - ANNEX to the Commission Delegated Regulation (EU) supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity qualifies as contributing substantially to climate change mitigation or climate change adaptation and for determining whether that economic activity causes no significant harm to any of the other environmental objectives, ANNEX I, C(2021) 2800 final https://ec.europa.eu/finance/docs/level-2-measures/taxonomy-regulation-delegated-act-2021-2800-annex-1_en.pdf

³¹ Commissione Europea, 2021 - Cicli del carbonio sostenibili, COM(2021) 800 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0800>

CAPITOLO 8

Gestione sostenibile delle risorse e delle infrastrutture idriche

Prof. Mario Rosario Mazzola

Dipartimento di Ingegneria, Università di Palermo

Prof.ssa Mara Tanelli

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano

Gestione sostenibile delle risorse idriche

Le componenti principali di una gestione sostenibile delle risorse idriche sono:

- le pratiche di uso razionale e conservativo da parte degli utenti;
- la diffusione delle apparecchiature di riduzione consumi;
- l'ottimizzazione della gestione integrata delle risorse convenzionali;
- l'efficienza delle reti di adduzione e distribuzione;
- la disponibilità di reti di collettamento delle acque reflue e di adeguati impianti di depurazione;
- l'uso sempre più diffuso di acque reflue depurate.

Molte di queste componenti hanno impatti anche significativi nella vivibilità e sostenibilità ambientale delle città, in maggiore misura di quelle medie e grandi. Infatti, la possibilità di utilizzare acque reflue depurate, efficienti reti di distribuzione e sistemi di irrigazione a basso consumo costituiscono un presupposto importante per garantire agli spazi verdi urbani una quantità di risorsa sufficiente per la realizzazione e il mantenimento degli stessi senza contribuire al consumo diretto della risorsa. Questo aspetto diventa sempre più importante con il consolidarsi degli effetti dei cambiamenti climatici in atto, con la progressiva estensione delle aree sottoposte a periodi siccitosi, dove la conflittualità con gli usi civili diretti si concretizza quasi sempre nel drastico contenimento o nel taglio integrale delle risorse disponibili per gli spazi verdi.

Non esistono difficoltà tecniche di rilievo nella realizzazione di efficienti reti di distribuzione e nella messa in opera di apparecchiature a basso consumo; piuttosto, le carenze che spesso si riscontrano sono ascrivibili alle difficoltà finanziarie degli enti locali, che spesso comportano tagli drastici nelle risorse disponibili per manutenzione e gestione. In alcuni casi la ridotta capacità delle amministrazioni nelle pratiche manutentive rappresenta un elemento che contribuisce al prematuro degrado di tubazioni e apparecchiature.

Il grafico riportato in Figura 10 evidenzia che i consumi capite giornalieri delle nove città italiane *carbon-neutral@2030* siano decisamente più alti di quelli che si registrano nei Paesi europei tecnologicamente più avanzati, per cui esiste un grande margine di miglioramento per il loro contenimento. Analoghe considerazioni possono essere dedotte dal confronto fra il livello delle perdite nelle reti di distribuzione urbana delle nove città, da dove si evince che anche nei casi dove il livello di perdita è decisamente più basso di quello che si registra in Italia in genere, in particolare nel Centro-Sud, è tuttavia molto più alto di quello che si registra, ad esempio, in Danimarca^A.

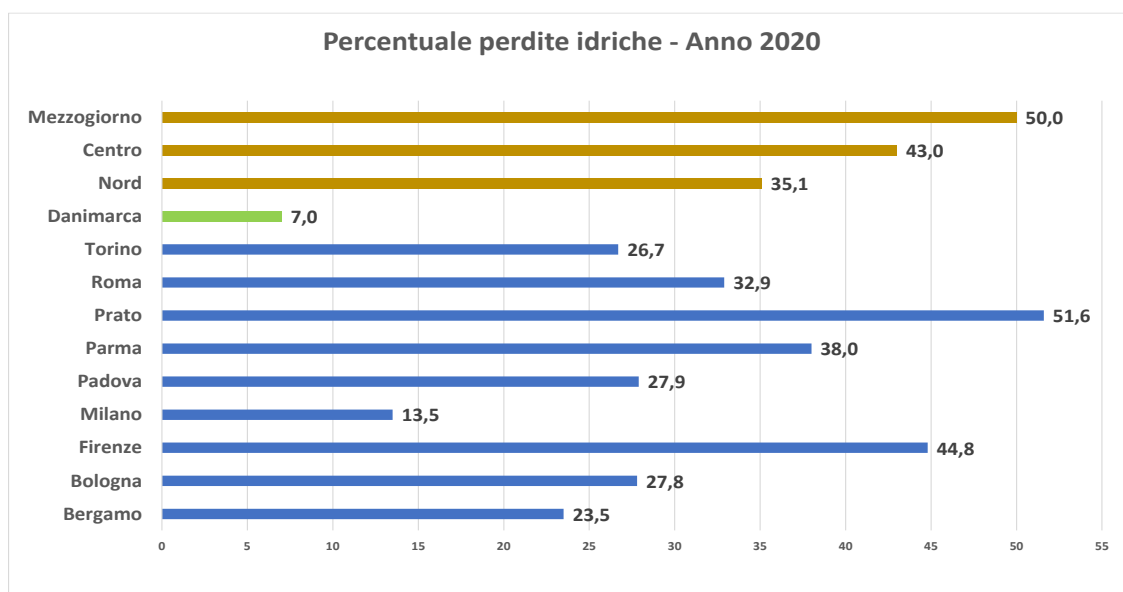


Figura 10: Perdite idriche dalle reti acquedottistiche in Italia per macro-regioni, nelle 9 città *carbon-neutral@2030*, e per confronto in Danimarca. Dati 2020. Le fonti dei dati riportati in sono ^{1,2,3}.

Una possibile soluzione alle problematiche finanziarie e gestionali potrebbe derivare dalla introduzione delle manutenzioni a carico degli enti locali nel perimetro del servizio idrico integrato e di conseguenza sotto la regolazione del settore operata da ARERA (Autorità di regolazione per energia reti e ambiente). La presenza di un gestore del servizio legittimato ai sensi della normativa vigente risolverebbe definitivamente le problematiche operative nella manutenzione e gestione delle infrastrutture di trasporto, lasciando agli enti locali la gestione diretta o indiretta delle reti e apparecchiature interne agli spazi verdi urbani. In molte realtà questa organizzazione è già operante con soddisfacenti risultati, con gli enti locali utenti del gestore del servizio idrico integrato. L'innovazione consisterebbe nel rendere questa pratica omogenea in tutto il territorio nazionale e nel porre il controllo dell'efficienza economica e tecnica del servizio sotto l'ombrello del regolatore nazionale del settore. Questo consentirebbe anche di disporre di metodologie omogenee per la definizione dei costi di questi servizi, indipendentemente dal fatto che la loro copertura venga ascritta alla fiscalità locale o sia compresa nelle tariffe applicate agli utenti.

^A Valori percentuali analoghi di perdite nelle reti si registrano in altri paesi nord-europei.

Anche per la produzione di acque reflue depurate non sono riscontrabili significative difficoltà tecniche^{4,5,6,7}, quanto piuttosto si ravvisa la necessità di disporre di una normativa nazionale chiara che, nel rispetto di tutte le prescrizioni igieniche e coerentemente con la normativa europea, agevoli la diffusione del riuso delle acque reflue depurate. Logicamente, le necessità degli usi per gli spazi verdi urbani in molti casi non rappresenta una percentuale significativa della potenzialità di produzione degli impianti di trattamento, per cui non giustifica da sola la realizzazione di una sezione di trattamento avanzato per il riuso anche parziale delle acque reflue. È quindi necessaria una programmazione regionale e territoriale specifica che identifichi le potenzialità di riuso delle acque reflue. Da un punto di vista normativo, ai sensi del D.lgs. n. 156 del 2006 questi strumenti programmatori esistono e sono il Piano di Gestione del Distretto Idrografico e il connesso Piano di Tutela delle Acque. La pratica di operare revisioni dei piani contestuali e coordinate, con chiare regole per le modifiche che è possibile adottare infraperiodo di programmazione, si è dimostrata utile ed efficace nella sua applicazione da parte di alcune Autorità di Distretto. Tuttavia, la possibilità di avviare su larga scala l'uso delle acque reflue depurate si basa anche, se non prioritariamente, sul coinvolgimento dei soggetti interessati che in larga parte coincidono con gli utenti agricoli e in misura minore con quelli industriali. Molte delle iniziative che sono state avviate si sono rivelate fallimentari per carenze di domanda del prodotto, in quanto gli agricoltori hanno continuato a preferire l'alimentazione da pozzi, a prescindere dal danno ambientale arrecato per il sovrasfruttamento degli acquiferi.

L'alimentazione degli spazi verdi urbani con le acque reflue depurate necessita logicamente, per motivi igienici, di una rete di condotte dedicata, che richiede investimenti in alcuni casi significativi. Tuttavia, nel processo di rifacimento delle reti per usi civili possono essere perseguite sinergie che contribuiscono al contenimento degli importi necessari per la realizzazione delle reti dedicate. Si tratta quindi di introdurre questi interventi nella pianificazione d'ambito, assegnando anche in questo caso la programmazione, manutenzione e gestione degli impianti di affinamento delle acque reflue e la rete di distribuzione al gestore legittimato del servizio idrico integrato e di conseguenza sotto la regolazione del settore operata da ARERA per gli aspetti tariffari e tecnici.

Se l'uso sostenibile delle risorse idriche può agevolare lo sviluppo degli spazi verdi delle città, questi possono a loro volta, come già visto nelle sezioni precedenti, rendere maggiormente sostenibile la gestione dei deflussi urbani, che già attualmente presenta una emergenza destinata ad aggravarsi in conseguenza dei cambiamenti climatici che si manifestano con l'incremento dei fenomeni metereologici, sia come intensità che frequenza. Negli ultimi anni si è sviluppato il concetto innovativo di "invarianza idraulica", che comporta la necessità di sviluppare la pianificazione e progettazione urbanistica in maniera tale da rendere inalterata la capacità di assorbimento del terreno. Logicamente gli effetti del cambiamento climatico rendono ancora più stringente questo concetto, imponendo la necessità non solo di mantenimento ma anche di miglioramento della capacità di deflusso. La pratica impossibilità di adeguare nel breve e medio periodo il dimensionamento dei sistemi di drenaggio urbano, comporta la necessità di approcci progettuali innovativi, con l'uso di tecniche a basso impatto (LDI) e migliorando le pratiche gestionali (BMPs)^{8,9,10,11}. Le tecniche utilizzate sono classificabili come tecniche di infiltrazione (trincee e bacini filtranti, pavimentazione porose), vegetative (biofiltri), "green" (tetti verdi, rain barrels, cisterne) e di laminazione/ritenzione (creazione di volumi dove

immagazzinare temporaneamente una aliquota del volume di piena, per rilasciarlo successivamente al passaggio del colmo). Queste vasche di laminazione consentono anche un parziale trattamento qualitativo delle acque, riducendo l'entità dei carichi inquinanti, attraverso processi di carattere fisico, chimico e biologico e la separazione e il successivo invio all'impianto di depurazione delle prime acque di pioggia, che presentano una elevata concentrazione di carichi inquinanti.

Gli spazi verdi urbani sono elementi che possono significativamente contribuire alla gestione sostenibile dei deflussi, anche in quanto al loro interno possono essere trovati gli spazi per creare vasche di laminazione sotterranee di capacità adeguata. Esempi di queste realizzazioni con vasche di grandi capacità con uso del suolo sovrastante come verde urbano esistono in Spagna (Madrid e Barcellona) e anche in Italia (ad esempio la vasca recentemente realizzata sotto Piazza Kennedy a Rimini). In altri contesti urbani sono stati sperimentati con successo parchi cittadini con aree allagabili per contenere eccessi di deflusso.

Anche in questo caso è opportuno che la gestione di questi impianti sia affidata al gestore del servizio idrico integrato e che sia anche compresa nel perimetro dei servizi regolamentati da ARERA, per controllarne i contenuti tecnici e i costi di costruzione e gestione. Trattandosi fondamentalmente di opere di urbanizzazione è auspicabile che le risorse finanziarie per la loro realizzazione siano in parte significativa coperte con fondi pubblici, mentre i costi della loro gestione e manutenzione possono essere compresi nella tariffa o coperti dalla finanza locale.

La digitalizzazione delle infrastrutture idriche

Gli obiettivi settoriali dichiarati nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici^B per le risorse idriche a uso civile, urbano ed industriale prevedono azioni di adattamento inclusive di aspetti tecnici/tecnologici, istituzionali, ambientali e sociali. I principali obiettivi prevedono miglioramenti dell'efficienza delle infrastrutture di distribuzione, miglioramenti dell'efficacia ed efficienza nell'uso della risorsa e della pianificazione, aggiornamenti della normativa attuale, aumento della resilienza economica e della consapevolezza nelle comunità.

Gli interventi di adattamento da intraprendere nel settore delle infrastrutture idriche a uso urbano e industriale per raggiungere questi obiettivi e, più in generale, per tutelare un approvvigionamento stabile e sicuro di acqua potabile in modo sostenibile, ridurre i consumi e migliorare la resilienza climatica (si veda, come riferimento, la Strategia dell'UE di Adattamento ai Cambiamenti Climatici), coprono varie categorie, di cui qui illustreremo quelli della tipologia "soft", in particolare quelli relativi alla digitalizzazione di queste infrastrutture.

I principali interventi di interesse in questo ambito riguardano il miglioramento degli attuali sistemi di monitoraggio delle reti di adduzione e distribuzione idrica e di drenaggio urbano. Più in dettaglio, questa categoria di intervento comprende azioni e investimenti che promuovano l'installazione di tecnologie digitali per il monitoraggio dei diversi processi e componenti infrastrutturali che garantiscono l'approvvigionamento idrico, maggior conoscenza del suo utilizzo finale, riduzione

^B Il piano, redatto nel 2018, è tuttora in fase di revisione e non è ancora stato approvato, ma è consultabile sul sito del MITE <https://www.mite.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>

delle perdite e miglior gestione dei sistemi di drenaggio. Rientrano in questa categoria di tecnologie:

- (i) i *sensori di pressione/flusso/livello e monitoraggio di parametri di qualità idrica* nelle reti di distribuzione e di drenaggio con possibilità di invio automatico di dati ad un sistema di controllo e acquisizione dati (SCADA)¹²;
- (ii) i *contatori digitali (smart meter)* per una migliore conoscenza dei consumi e gestione della domanda¹³;
- (iii) gli *attuatori per il controllo automatico*^{14,15};
- (iv) i *modelli matematici, digital twin e sistemi di supporto alla decisione* fondati su simulazione e analisi di scenari e affinamento dei sistemi di *early warning* (es. per rischio di esondazioni, presenza di contaminanti, anomalie nel funzionamento dei sistemi di pompaggio) (si veda anche la sezione successiva per un approfondimento sul ruolo dei *digital twin*).

La realizzazione di sistemi di monitoraggio e digitalizzazione come quelli descritti permette inoltre ai gestori delle reti di acquisire una conoscenza molto più approfondita sullo stato del sistema e di mettere in pratica moderni protocolli di manutenzione che, permettendo di intervenire preventivamente sulle parti di rete più sollecitate o più vecchie – e non operando soltanto in seguito a rotture – hanno dimostrato di ridurre notevolmente le perdite e consentire notevoli risparmi di gestione.

ICT e opere di regimazione e difesa del suolo

A fronte dell'aumento della magnitudo e della frequenza degli eventi climatici localizzati su piccoli areali, le reti esistenti per la regimazione che sottendono bacini di limitate dimensioni, generalmente dimensionate considerando tempi di ritorno degli eventi inferiori a 30 anni, possono risultare soggette a piene ben superiori a quelle di progetto.

In ambito urbano, risultano particolarmente vulnerabili ai *flash flood* le reti di drenaggio delle acque meteoriche, che nel caso italiano spesso confluiscono con le reti fognarie. Nel caso delle reti esistenti, la penuria degli spazi e le interferenze con le altre reti tecnologiche presenti nel sottosuolo ostacolano generalmente l'ampliamento dei condotti e quindi l'aumento della capacità di deflusso. D'altra parte, è proprio in ambito urbano che i fenomeni indotti dalle precipitazioni estreme (allagamento interrati, sottopassi, ascensori ecc.) provocano i danni maggiori.

Una possibile soluzione per ridurre o mitigare gli effetti di tali fenomeni in ambito urbano si ottiene adottando soluzioni di laminazione locale quali quelle già discusse nella sezione precedente. Quale supporto della digitalizzazione, in questo ambito si potrà ricorrere ad un uso esteso dell'intelligenza artificiale, introducendo una rete di sensori e attuatori a controllo remoto, in grado di gestire in maniera attiva i flussi evolventi nei diversi rami della rete.

Le reti esistenti dovrebbero, quindi, *essere viste come reti dinamiche*, nelle quali i flussi dei singoli collettori siano gestiti unitariamente, così da ottenere un deflusso sostanzialmente costante. Questo controllo potrà essere garantito da sensori avanzati a controllo remoto e da dispositivi di tipo mecatronico, che consentano di aumentare o laminare la portata dei diversi rami.

L'intervento di adattamento dovrebbe completarsi con l'implementazione in tutta la rete di un sistema GIS integrato, che, interfacciandosi con i radar meteorologici nonché con le stazioni meteo e la rete pluviometrica relativi all'area interessata, sia in grado di registrare in tempo reale gli eventi estremi sui bacini imbriferi di competenza dei singoli rami. Questi dati, elaborati in tempo reale con modelli di simulazione appositamente studiati e calibrati, potranno fornire i valori di soglia rappresentativi dei diversi scenari ipotizzabili, al fine di attivare le necessarie procedure d'intervento.

Box 10: Risorse e infrastrutture idriche - Azioni raccomandate

- Attivare un programma di concerto con ARERA per il contenimento delle perdite idriche nelle reti di distribuzione entro limiti del 10-12%, valori simili a quelli che si registrano nelle città europee più efficaci nelle politiche di sostenibilità.
- Ristrutturare gli impianti negli edifici pubblici per il contenimento dei consumi idrici.
- Promuovere la progressiva installazione di apparecchiature a basso consumo idrico nelle abitazioni.
- Approvare un regolamento che definisca limiti per l'utilizzo delle acque reflue depurate per usi cittadini non potabili ad integrazione del Regolamento (UE) 020/741 e delle linee guida per l'uso in agricoltura di cui alla Comunicazione 2022/C 988/01.
- Realizzare una rete principale duale nelle città per l'utilizzo di acque reflue per usi di interesse pubblico, quale l'irrigazione delle aree verdi e la pulizia delle strade; per questo scopo è opportuno assegnare alle aziende che gestiscono il servizio idrico integrato i compiti di soggetto gestore dell'intero ciclo idrico nelle città, compresi l'utilizzo delle acque reflue depurate e i deflussi urbani.
- Ridiscutere il perimetro di competenza di ARERA per valutare i vantaggi di comprendere tutti gli usi cittadini, il riuso delle acque reflue depurate, la gestione dei deflussi urbani.
- Modificare i regolamenti urbanistici prevedendo la realizzazione anche in proprietà privata di trincee e bacini filtranti, agevolare la realizzazione di pavimentazioni porose, introdurre misure vegetative (biofiltri) e "green" (tetti verdi, *rain barrels*, cisterne).
- Accelerare la realizzazione delle misure che assicurino non solo l'invarianza idraulica ma piuttosto il miglioramento delle capacità di assorbimento idrico delle superfici urbane.
- Rivedere la pianificazione delle città per identificare tutti gli spazi verdi nei quali è possibile la realizzazione in sotterraneo o in superficie di vasche di laminazione delle portate di piena, per consentire anche il trattamento delle prime acque di pioggia negli impianti di depurazione, conservando la loro destinazione a verde.
- Promuovere la realizzazione di sistemi di monitoraggio digitalizzati sulle reti idriche di distribuzione, sulle reti fognarie e sulle reti di deflusso delle acque meteoriche, supportate da modelli previsionali e da attuatori per la gestione anche automatica di situazioni critiche.

¹ ARERA. Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta nel 2021 (2022).

² ISTAT. Report acqua (marzo 2022).

³ DANVA. Water in figure in Denmark (2022).

⁴ Regolamento (UE) 2020/741.

⁵ Comunicazione CE 2022/C 298/01.

⁶ UN Water. Wastewater; The Untapped Resources, WWDR 2017.

⁷ Fondazione Sviluppo Sostenibile, ENEA, Università di Bologna. Ciclo dell'Acqua ed Economia Circolare (marzo 2021).

⁸ Giugni M. e De Paola F. Gestione dei sistemi di frenaggio urbano mediante pratiche a basso impatto ambientale, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università di Napoli Federico II (2015).

⁹ Freni G. e Liuzzo L. Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems for Flood Reduction in Residential Urban Areas, *Water* 11, 2019.

¹⁰ Masseroni D., Massara F., Gandolfi C. e Bischetto G.B. Manuale sulle pratiche di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile; Università degli Studi di Milano e CAP Holding, 2018.

¹¹ Linee guida sull'adozione di tecniche di drenaggio urbano sostenibile per una città più resiliente ai cambiamenti climatici, Comune di Bologna, EIB, ATKINS e IRIDRA, 2018.

¹² Fattoruso, G., Tebano, C., Agresta, A., Lanza, B., Buonanno, A., De Vito, S. and Di Francia, G., 2015, June. A SWE architecture for real time water quality monitoring capabilities within smart drinking water and wastewater network solutions. In International Conference on Computational Science and Its Applications (pp. 686-697). Springer, Cham.

¹³ Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A., & Rizzoli, A. E. (2015). Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review. *Environmental Modelling & Software*, 72, 198-214.

¹⁴ Ocampo-Martinez, C., 2010. Model predictive control of wastewater systems. Springer Science & Business Media.

¹⁵ Fiedler, F., Cominola, A. and Lucia, S., 2020. Economic nonlinear predictive control of water distribution networks based on surrogate modeling and automatic clustering. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), pp.16636-16643.

CAPITOLO 9

Digitalizzazione per la transizione e la resilienza

Prof. Francesco Luca Basile

Dipartimento di Chimica Industriale dell'Università di Bologna

Prof.ssa Mara Tanelli

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano

La digitalizzazione a servizio della decarbonizzazione

Le tematiche di digitalizzazione sono decisamente trasversali a tutte le infrastrutture e costituiscono una *condicio sine qua non* per attuare qualsiasi politica di decarbonizzazione.

Disporre di appropriate infrastrutture digitali e della capacità di raccogliere, conservare ed elaborare in modo continuo ed efficace i dati che tali infrastrutture consentono di ricavare è una precondizione per poter progettare, realizzare e monitorare le misure che si intende attuare, sia per migliorare la resilienza delle infrastrutture esistenti sia per realizzare la decarbonizzazione delle infrastrutture stesse.

Avere meccanismi di raccolta, interpretazione e sintesi dei dati stabili, coerenti e consistenti nelle fasi che vanno dal progetto di un'azione specifica fino alla sua messa in opera e al successivo monitoraggio è di fondamentale importanza per una corretta valutazione dell'impatto di tale azione e per poter essere in grado di farla evolvere in modo sintonizzato rispetto all'evoluzione dinamica dell'infrastruttura su cui essa stessa agisce.

È opportuno sottolineare che, per intraprendere in modo efficace e duraturo un approccio *data-driven* al monitoraggio attivo per la diagnostica e prognostica degli interventi di adattamento delle infrastrutture, non si può prescindere da politiche di *governance* dei dati stessi. La definizione di tali politiche deve ovviamente considerare in modo attento le implicazioni di *privacy* e protezione dei dati stessi e la loro *ownership*. In questo senso, è di particolare interesse – per esempio per le infrastrutture di trasporto – l'idea di poter considerare e impiegare anche i veicoli stessi, dotati di innumerevoli sensori di bordo, come parte di questo schema di monitoraggio permanente dell'infrastruttura, promuovendo accordi e *partnership* specifiche che consentano lo scambio di dati sicuro e protetto tra i veicoli stessi e gli organismi di gestione delle infrastrutture.

Il tema del digitale, in particolare, è stato e sarà fondamentale per lo sviluppo della "new mobility" in ambito urbano. Questo si lega al tema della transizione verso il concetto di *Mobility as a service* (MaaS), che ha un ruolo centrale in una discussione

sulla digitalizzazione nelle città e di cui discuteremo nella sezione dedicata all'interazione delle tecnologie ICT con le infrastrutture di trasporto e mobilità.

I big-data e il loro ruolo nella decarbonizzazione delle città

I dati svolgono da decenni un ruolo chiave nella pianificazione delle politiche di mobilità. Storicamente, la stima della domanda viene fatta sulla base di estrapolazioni a partire dalle intensità storiche di traffico e i sondaggi sulle abitudini di viaggio, che hanno rappresentato un modo tipico per comprendere il comportamento degli utenti e per valutare in modo specifico le politiche di mobilità. In particolare, la costruzione di modelli di trasporto spaziale e la raccolta dei dati di viaggio giornalieri dei pendolari sono da decenni approcci chiave per studiare le questioni più importanti della mobilità, tra cui la sicurezza dei viaggi e l'efficienza dei sistemi di trasporto, e con cui fare progetto e sviluppo dei sistemi di mobilità sostenibile. Più recentemente, negli studi sulla mobilità hanno preso posto i *big-data*, ampiamente utilizzati nei rilevamenti del comportamento di massa degli utenti stradali per la stima dell'intermodalità^{1,2}. In particolare, possiamo identificare quattro tipi diversi di dati che sono frequentemente utilizzati negli studi sulla mobilità urbana e nei relativi processi decisionali: *sondaggi*, *dati statistici*, *dati GIS* e *big-data*. Nel seguito ci soffermiamo in particolare su questi ultimi.

Il concetto di *big-data* si riferisce a dati disponibili in grandi volumi, solitamente eterogenei e provenienti da fonti autonome decentralizzate. Se ben elaborati, hanno il potenziale per rappresentare in modo preciso i *macrotrend* complessivi di mobilità con un alto livello di dettaglio.

Tipicamente, i *big-data* negli studi sulla mobilità urbana sono caratterizzati da informazioni provenienti da GPS, *smart card*, telefoni cellulari e *social media*.

A partire dagli anni 2000 è diventata prassi comune raccogliere dati GPS, che provengono da *logger* GPS posti sui veicoli, da telefoni GPS e da GPS abilitati presenti su altri dispositivi mobili. I dati GPS includono posizioni, tempo e velocità, da cui è possibile ricostruire un tracciamento dei comportamenti di viaggio delle persone e dei veicoli. Un esempio di servizio di analisi del traffico basato su dati GPS e di libero uso è il *Tom Tom Traffic Index*^A, che fornisce una serie di elaborazioni e un indice di congestione di facile interpretazione.

I dati delle *smart card* sono stati utilizzati prevalentemente dai sistemi di trasporto pubblico per registrare comportamenti di mobilità dei viaggiatori da impiegare per la pianificazione dei trasporti e la gestione del traffico.

I telefoni cellulari stanno diventando un mezzo importante per acquisire dati di rilevamento su larga scala utilizzato in vari domini. In termini di studi sulla mobilità urbana, essi offrono nuove opportunità e prospettive per comprendere il comportamento di mobilità delle persone mediante un approccio a costi contenuti che al contempo garantisce un'ampia dimensione del campione e un *set* di dati aggiornati ad alta frequenza. Al contempo, rispetto alle altre tipologie di dati, l'analisi dei dati

^A <https://www.tomtom.com/traffic-index/>

grezzi dei telefoni cellulare è complessa e richiede competenze avanzate per poter estrarre informazioni di interesse.

Nel dominio della mobilità urbana, i dati dei *social media* aiutano i responsabili politici a rilevare i *driver* di aggregazione e di scelta nel contesto della mobilità delle persone e di come questa sia legata ed influenzata dalle reti sociali degli individui. Anche in questo contesto le questioni relative alla *privacy* e all'*ownership* dei dati sono fondamentali.

Per supportare l'impiego di questi dati in un ambito di decisione politica, oltre chiaramente a doversi dotare di strumenti di raccolta delle fonti dati gestendo le questioni relative alla *ownership* del dato stesso ed alla *privacy* delle informazioni individuali raccolte, occorre formare gruppi di esperti interdisciplinari che siano in grado di analizzarli in modo integrato.

Questi sforzi e i loro risultati dovrebbero essere pubblicamente accessibili, riproducibili e predisposti per essere continuamente ampliati da qualsiasi gruppo di ricerca o individuo, seguendo la logica *open data* promossa dalla Commissione europea.

Quello che occorre è un piano concreto, declinato a livello locale e integrato a livello nazionale e transnazionale, per sostenere la ricerca e la pratica della decarbonizzazione e in particolare sulla mobilità sostenibile, utilizzando i *big-data* in modo integrato con modelli climatici, energetici e dei trasporti su larga scala. L'uso dei *big-data* e dell'intelligenza artificiale come generatore di inferenza creerà un binomio sempre più prezioso per pianificare, progettare, e valutare impatti *ex-ante* ed *ex-post* della sostenibilità di mobilità e infrastrutture e del loro ruolo attivo nella decarbonizzazione, a livello urbano ma non solo.

Excursus sulla digitalizzazione di infrastrutture di interesse a livello urbano

Nel seguito di questa sezione saranno descritte in modo sintetico le necessità principali di alcune infrastrutture di particolare rilievo per l'ambito urbano, con riferimento alla digitalizzazione delle stesse.

Infrastrutture di trasporto e mobilità

Le tecnologie digitali hanno dimostrato, nel corso degli scorsi decenni, una capacità impressionante di modificare i comportamenti di individui, imprese, attori finanziari e governi. Esempi chiave sono l'evoluzione esponenziale del traffico internet e dell'attività dei "*data centres*"³ e la diffusione di apparecchi elettronici come gli *smartphones*⁴. Le aspettative future vedono un incremento della penetrazione di tecnologie digitali per una larga varietà di oggetti – come parte appunto del concetto del "*Internet of Things*" (IoT). Un'ulteriore accelerazione di questi sviluppi è stata impressa negli ultimi anni dagli effetti della pandemia di Covid-19.

I trasporti e la mobilità non fanno eccezione in questo quadro e hanno visto un crescente uso di tecnologie digitali, generalmente riassunte dal concetto generale di sistemi di trasporto intelligente ("*intelligent transportation systems*", ITS). Questo comprende le comunicazioni integrate e le tecnologie di elaborazione dati che, se combinate e gestite, migliorano le capacità operative dell'intero sistema di trasporto

^{5, B(6,7)}. Nel caso dei veicoli, le tecnologie digitali sono elementi fondanti del concetto di “*cooperative-ITS*” (C-ITS), legato alle comunicazioni “*vehicle to everything*” (V2X), ovvero tra un veicolo con un altro e con le infrastrutture, con molteplici campi di utilizzo (a cominciare da aspetti legati alla sicurezza). Queste, in combinazione con i *big-data*, miglioramenti nella potenza di calcolo, *machine learning* e intelligenza artificiale, sono anche parte dei prerequisiti necessari allo sviluppo della guida autonoma. Al di là dei veicoli, le tecnologie di “*Information Communications Technology*” (ICT) si sono già dimostrate strumentali ed efficaci per lo sviluppo di nuove forme di mobilità “condivisa”, come nel caso della micro-mobilità o del “*ride sharing*” (entrambi di particolare interesse per il sostegno all’intermodalità in contesto urbano).

Ad oggi, la tendenza ad una transizione verso veicoli connessi, autonomi e condivisi (grazie alle tecnologie digitali) è stata chiaramente supportata da opportunità economiche e non necessariamente accoppiata con l’importanza di allineare opportunità economiche e sostenibilità ambientale (che comprende la mitigazione delle emissioni di gas serra), anche se notevoli sinergie esistono tra queste tecnologie e i veicoli elettrici. Diverse analisi indicano che l’uso di tecnologie digitali nei veicoli (in particolare i veicoli autonomi) possono avere impatti notevoli sul traffico^C, sia per le merci che per i passeggeri. Questo non indica soltanto la crescente necessità di disaccoppiare attività di trasporto ed emissioni (specialmente in un quadro politico con l’ambizione di raggiungere zero emissioni al 2050) ma sottolinea anche l’importanza di gestire l’evoluzione della domanda e rendere le infrastrutture capaci di sostenerla.

L’uso di tecnologie digitali può avere un ruolo centrale per una transizione verso la tassazione al chilometro (*pay as you drive*), specialmente in una situazione in cui la pandemia di Covid-19 ha accelerato la transizione a questo tipo di tecnologie ed è già, tecnicamente, una realtà⁸.

L’integrazione delle tecnologie ICT nei sistemi sviluppati dai costruttori può anche essere strumentale per consentire l’uso di politiche di “*geofencing*”, volte a favorire l’uso di veicoli più efficienti e meno inquinanti in aree in cui questi veicoli hanno impatti importanti sulla salute, tema di particolare rilevanza in ambito urbano.

Un ulteriore caso importante di sviluppo delle tecnologie digitali a fini di decarbonizzazione è quello che consente l’uso di veicoli elettrici nel quadro di sistemi integrati di gestione della domanda di elettricità (“*smart grids*”) con le tecnologie di *Vehicle-2-Grid* di cui si è già trattato precedentemente.

^B I pilastri chiave del concetto ITS includono rilevatori di traffico integrati nelle strade per il controllo dei semafori, identificazione a radiofrequenza (RFID), riconoscimento automatico delle targhe ed il sistema globale di navigazione satellitare (GNSS, Global Navigation Satellite System).

^C I veicoli a guida automatica possono potenzialmente migliorare l’attuale sistema di trasporto in termini di riduzione degli incidenti, dei consumi energetici, della congestione e dell’uso del suolo urbano (minore occupazione di suolo per la sosta) e miglioramento della equità sociale. Tuttavia, questi benefici si possono ottenere solamente nel caso di uso condiviso dei veicoli autonomi, e transizione tecnologica a soluzioni con costi operativi più bassi, come i veicoli elettrici.

I sistemi “*Mobility as a Service*” (MaaS)^D

Una definizione operativa sintetica e sufficientemente generica di MaaS può essere la seguente: *il MaaS utilizza un'interfaccia digitale e dati condivisi per reperire e gestire in modo efficiente la fornitura di servizi di trasporto che soddisfino le esigenze di mobilità delle persone*⁹.

Il MaaS ha il potenziale per migliorare il sistema di trasporto migliorandone l'accessibilità. Ciò è particolarmente vero per coloro che non possono o non desiderano guidare e per coloro che non hanno accesso ad auto private. È quindi una leva potenzialmente molto forte per le politiche di *shift* modale e quindi di decarbonizzazione, specie in ambito urbano¹⁰.

In particolare, il MaaS promette un paradigma di mobilità più efficiente e incentrato sull'utente, cercando di separare le offerte di servizi di mobilità raggruppandone però gli elementi servitizzati in una nuova offerta rivolta ai consumatori in modo integrato. Ciò implica una transizione da un modello di accesso basato sulla proprietà, o monomodale, a uno che si concentra su un unico punto di accesso a molteplici servizi coordinati, offerti da vari attori pubblici e privati. La promessa del MaaS si basa su due fattori chiave: un maggior vantaggio per il consumatore e una maggiore efficienza del sistema. I miglioramenti di efficienza promessi dal MaaS sono realizzati mediante le economie di scala che possono essere ottenute riducendo al minimo la quantità di spazio consumato per fornire un servizio (efficienza spaziale) e massimizzando l'utilizzo delle risorse di trasporto (efficienza temporale). La terza caratteristica dell'efficienza promessa dal MaaS è l'efficienza di connessione con cui i diversi servizi di mobilità sono virtualmente e fisicamente uniti.

Tuttavia, il raggiungimento di questi risultati è incerto e dipende da offerte di mercato specifiche, preferenze dei consumatori e altri fattori, compresa la capacità di creare un quadro regolatorio e di gestione efficiente. L'incertezza sui modelli di *business* praticabili per il MaaS implica infatti che il raggiungimento di questi vantaggi sia subordinato all'adozione di una regolamentazione che sostenga lo sviluppo di un sistema competitivo e di un mercato innovativo. Per poterli sviluppare in ambito MaaS occorre formulare e soddisfare specifici requisiti per la condivisione dei dati e il *reporting* dei servizi offerti.

Sebbene il concetto di MaaS esista da diversi anni, come gestire al meglio la sua attuazione è ancora incerto. Ci sono tre grandi domini funzionali nell'ecosistema MaaS: la produzione di servizi di mobilità, l'unione di offerte di mobilità e l'informazione ai viaggiatori sulle opzioni disponibili.

Per quanto riguarda il primo punto, non c'è MaaS senza operatori di mobilità. I servizi di trasporto che essi producono, infatti, sono gli elementi costitutivi di base necessari per compilare un'offerta di mobilità multimodale integrata. Questi operatori hanno tradizionalmente operato in modo indipendente o quasi. I loro sistemi, per la maggior parte, non sono stati progettati per l'interoperabilità o, in alcuni casi, solo per una interoperabilità limitata (come nel caso dei servizi di trasporto pubblico regionale). Sono stati anche regolati in modo indipendente. Attuare il MaaS, però, implica che

^D Si vedano <https://www.itf-oecd.org/innovative-mobility-landscape-maas> <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/innovative-mobility-brussels-captial-region.pdf>

gli operatori dei servizi di mobilità diventino più connessi e interoperabili sia digitalmente sia fisicamente. A tal fine, dovranno rendere disponibili tutte le informazioni relative al servizio per l'integrazione in formati dinamici e leggibili digitalmente.

L'interfaccia digitale con il cliente, infatti, è al centro dell'ecosistema MaaS e il suo progetto e implementazione genera diverse questioni da affrontare. La prima riguarda la definizione del modo in cui le scelte offerte ai viaggiatori vengono proposte e definite in modo trasparente. La seconda riguarda la scelta di stabilire se il MaaS richieda un'unica interfaccia o se possono coesistere più interfacce alternative, costruendo un insieme comune di informazioni condivise sui servizi. La terza questione riguarda il modo in cui le diverse parti interessate nell'ecosistema MaaS possono o vogliono fidelizzare i clienti.

All'interno dei vari *stakeholder* dell'ecosistema MaaS, le autorità locali, regionali e statali possono avere interesse a fornire servizi di mobilità multimodale ai propri cittadini e visitatori. Le autorità di trasporto possono cercare di rafforzare la loro posizione di integratore di diversi servizi fornendo soluzioni di mobilità multimodale. Ciò vale soprattutto per le autorità di trasporto che hanno forti relazioni con i clienti finali, ad esempio attraverso un ruolo nella vendita di biglietti dei trasporti pubblici.

Una regolamentazione efficace del MaaS deve basarsi su una chiara comprensione delle dinamiche di mercato rilevanti e di una pronta identificazione di significativi fallimenti del mercato e/o di problemi patrimoniali. Mentre i governi potrebbero voler regolamentare il contesto *ex ante* per affrontare i danni prevedibili, la natura dei nuovi servizi e il mercato emergente in cui essi operano deve essere ben compreso per evitare di imporre una regolamentazione inefficace, che genererebbe costi imprevisti. Inoltre, i potenziali benefici di politica pubblica del MaaS saranno raggiunti solo se l'ecosistema raggiungerà dimensioni e portata sufficienti.

Per supportare un possibile sviluppo positivo del MaaS e delle opportunità che potrebbe fornire in ambito di decarbonizzazione grazie a una vera multimodalità integrata e di massa, è necessaria l'adozione di un contesto normativo favorevole, che massimizzi le probabilità di far nascere modelli di *business* sostenibili. Nel caso in cui un tale sviluppo si riveli difficile, dovrebbe essere presa in considerazione anche l'erogazione temporanea di sussidi per consentire e sostenere lo sviluppo del MaaS su larga scala nelle sue fasi iniziali. Tale supporto sarebbe giustificato se il MaaS si dimostrasse in grado di contribuire in modo significativo all'accessibilità e/o agli obiettivi di sostenibilità delle politiche di trasporto della città, con tutte le implicazioni socioeconomiche ad essi connesse.

Di sicuro, per dare al MaaS una *chance* di fattibilità, deve essere messo in atto un piano di *governance* dei dati attentamente ponderato e articolato attorno a due pilastri principali. Il primo comprende la condivisione dei dati e i requisiti di portabilità dei dati tra gli attori del mercato. La seconda comprende gli obblighi di comunicazione dei dati alle autorità pubbliche che ne consentono il monitoraggio (e il controllo, se necessario). Entrambi i pilastri devono consentire la protezione dei dati personali in linea con il regolamento generale sulla protezione dei dati dell'UE.

Il quadro normativo e le raccomandazioni sulla *governance* dei dati possono essere raggruppati in tre obiettivi di alto livello:

- 1) consentire la creazione di un ecosistema MaaS che contenga attori sia pubblici che privati. Per fare ciò, è necessario eseguire i seguenti passaggi:
 - a) regolamentare separatamente gli operatori della mobilità e i fornitori MaaS;
 - b) stabilire chiaramente lo stato dei fornitori MaaS tramite uno schema di licenze;
 - c) rivedere le condizioni di licenza degli operatori di mobilità per garantire che non vi siano potenziali ostacoli allo sviluppo del MaaS;
 - d) aggiungere requisiti minimi obbligatori di condivisione dei dati relativi ai dati informativi e operativi ai contratti di licenze per gli operatori della mobilità;
- 2) favorire lo sviluppo di un mercato efficiente ed equo. Le azioni principali in tal senso dovrebbero considerare di:
 - a) rendere la portabilità dei dati dei consumatori obbligatoria, previo consenso dell'interessato, condizione obbligatoria per tutte le licenze di operatori di mobilità e fornitori MaaS;
 - b) adottare forme di salvaguardia della concorrenza nell'ambito del quadro delle licenze dei fornitori MaaS;
 - c) dare agli operatori del trasporto pubblico la libertà di negoziare i termini di rivendita dei biglietti con i fornitori MaaS che, a loro volta, dovrebbero essere liberi di determinare il prezzo dei servizi ai consumatori;
 - d) rendere specifici e direttamente correlati al servizio gli obblighi di comunicazione dei dati alle autorità pubbliche;
- 3) gestire in modo più ampio gli esiti della mobilità, considerando che:
 - a) gli obiettivi di mobilità sostenibile dovrebbero essere perseguiti principalmente attraverso misure che si applichino a tutti i servizi di mobilità piuttosto che normative specifiche per il MaaS;
 - b) lo sviluppo del MaaS dovrebbe servire a migliorare l'equa accessibilità e a combattere la "transport poverty" su tutti i territori.

Infrastrutture informatiche e di tecnologie ICT

Il ruolo centrale dei sistemi informatici di comunicazione, in particolare visto a sostegno dei sistemi di trasporto e della mobilità sostenibile passeggeri e merci, richiede lo sviluppo dei seguenti interventi:

- uso sistematico di soluzioni di commutazione ottica per il trasferimento dei dati;
- sviluppo e installazione di nuove tecnologie per la gestione *on-off* delle apparecchiature;
- sviluppo della rete 5G e dell'accesso in fibra ottica;

- sviluppo di protocolli ed infrastrutture fisiche per realizzare la “*Internet of Vehicles*” (IoV) e abilitare la comunicazione “*Vehicle to Everything*” (V2X);
- potenziamento dei sistemi di *cybersecurity*.

La realizzazione di questi interventi di mitigazione pone complesse sfide progettuali, che coinvolgono sia il segmento di *communication* (la rete per la raccolta e il trasporto dei dati) sia il segmento di *information* (i *datacenter* per l’elaborazione e la archiviazione/memorizzazione dei dati).

Dopo l’excursus proposto sulle diverse infrastrutture, diamo, nella sezione successiva, alcuni suggerimenti di implementazione per attuare una strategia di implementazione dei passi necessari a una digitalizzazione efficace, trasversali a tutte le infrastrutture e dunque da attuare prioritariamente per preparare poi le azioni specifiche sopra descritte.

Suggerimenti di implementazione

Volendo indicare ora alcune misure di carattere generale e condivise da tutte le infrastrutture fisiche, al fine di migliorarne le potenzialità di adattamento ai cambiamenti climatici, vogliamo in questa breve nota puntare l’attenzione su interventi infrastrutturali sempre di tipo *soft* (ovvero interventi che richiedono modifiche infrastrutturali marginali o nulle e sono volti ad una maggiore digitalizzazione dell’infrastruttura esistente) che permettano, in linea con le indicazioni inserite dalla Commissione europea nella nota “*Technical guidance on the climate-proofing of Infrastructure in the period 2021-2027*”, di compiere il primo passo fondamentale di un’analisi dello stato di salute e della vulnerabilità delle infrastrutture esistenti. Ciò consentirà anche di potere aggiornare quest’analisi dinamicamente nel tempo, in modo che possa essere impiegata come strumento – anche con capacità predittive – per sostenere il ciclo di vita delle attività di *climate-proofing* indicato nel documento menzionato. Infine, tale analisi potrebbe consentire l’ottenimento di elementi quantitativi che rendano confrontabili rilevazioni fatte in momenti temporali differenti, in modo da rappresentare la base per una strategia integrata di prioritizzazione degli investimenti.

A tal fine, si suggerisce di intraprendere i seguenti passi e pianificare gli investimenti necessari a realizzarli per tutte le infrastrutture fisiche:

- programmare azioni e investimenti concreti che promuovano l’installazione di tecnologie digitali e IoT (*Internet of Things*) per il monitoraggio dei diversi processi e componenti infrastrutturali, al fine di avere un flusso di dati garantito e sistematizzato che fornisca informazioni in tempo reale sulle diverse infrastrutture;
- prevedere la creazione di piattaforme digitali di *backend* per la raccolta, lo stoccaggio e il processamento di tali dati, al fine di creare una base di dati facilmente accessibile e integrabile con quelle relative al monitoraggio degli eventi climatici per una opportuna integrazione delle informazioni;
- pianificare azioni di rilevazione automatica della condizione delle infrastrutture stesse, ad esempio mediante l’impiego di droni opportunamente strumentati, che consenta di costruirne modelli tridimensionali aggiornati per la creazione di “gemelli digitali” (*digital twin*) accurati delle stesse, che possano essere digitalizzati;

- costruire una rete di modelli matematici, gemelli digitali e sistemi di supporto alla decisione fondati su simulazione, analisi di scenari che integrano la descrizione delle infrastrutture e le loro interazioni con eventi climatici estremi, per la costruzione e l'affinamento dei sistemi di *early-warning*, che consentano di compiere le analisi di vulnerabilità in modo predittivo, e per intervenire tempestivamente per l'adattamento delle infrastrutture, secondo schemi di intervento che possano essere preventivamente simulati e valutati nel modello digitale integrato sviluppato;
- creare un nucleo di analisi ed elaborazione dei dati e della gestione dei sopra menzionati modelli, in modo da costituire nelle città centri interdisciplinari di gestione dei dati, che in modo continuo e strutturato forniscano elementi aggiornati per il monitoraggio attivo, la pianificazione e la realizzazione degli interventi di adattamento via via necessari;
- considerare fin dalle fasi di progetto gli impatti non solo tecnologici, ma anche socioeconomici degli interventi di adattamento programmati, al fine di valutare sempre, anche dotandosi di metodi di analisi quantitativa, il valore di accessibilità fisica e sociale ad infrastrutture resilienti, e la relativa ricaduta in termini di inclusione sociale e riduzione delle disuguaglianze.

Gemelli Digitali, Green Deal e partecipazione

Nato con un focus soprattutto sui processi industriali, grazie alle recenti innovazioni nelle tecnologie digitali trasformative, il *digital twin* è diventato l'interfaccia ideale per mettere in relazione il mondo fisico con quello digitale.

Le moderne tecnologie ICT rendono oggi possibile dare vita a una replica digitale di processi, servizi e fenomeni sociali, naturali ed economici con l'intento di visualizzare, simulare, ottimizzare, monitorare e prevedere il loro comportamento. Questa opzione è particolarmente adatta a implementare *smart cities* e ad affrontare le sfide del Green Deal nella loro complessità¹¹.

Esistono molte definizioni di *digital twin* applicate a sistemi industriali che, se lette trasversalmente, permettono di rendere evidente il senso del suo utilizzo per le città. Un gemello digitale è, come accennato, una replica digitale di una entità fisica vivente o non vivente. Attraverso un collegamento fra la dimensione virtuale e quella fisica i dati sono trasmessi in modo che la realtà virtuale esista simultaneamente all'entità fisica. Ma il gemello digitale è molto di più di un oggetto ad alta tecnologia che assomiglia al sistema fisico. La combinazione efficace di uso di dati storici, di sorgenti continue di dati in tempo reale da *Internet of Things* (IoT)¹², di simulazioni complesse in grado di generare ampi *dataset* sintetici, di tecniche di *machine learning* e di capacità computazionali virtualizzate (da *cloud* e da *High Performance Computing* - HPC) permette di ottimizzare, innovare, costruire scenari, gestire rischi potenziali ed eventi estremi, fornire nuovi servizi e – in particolare se supportato da tecnologie avanzate di visualizzazione – permettere la partecipazione e il coinvolgimento dei cittadini.

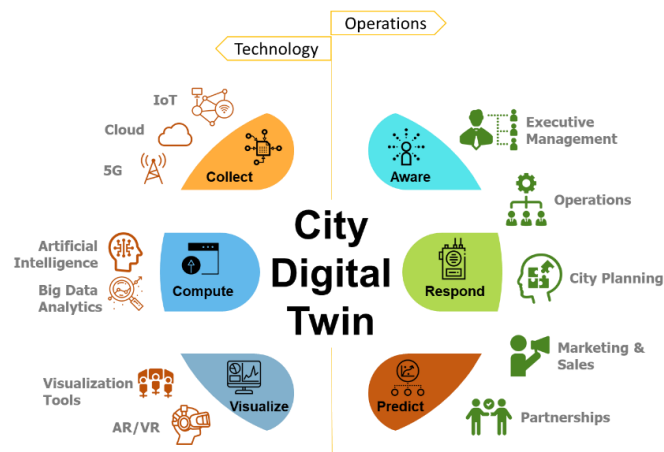


Figura 11: Schema concettuale di un gemello digitale di città¹³

La filosofia del gemello digitale consiste nel costruire la replica del sistema fisico per poi separarlo, rendendo così più facile la sperimentazione del cambiamento e la simulazione di scenari senza modificare l'entità fisica. Inoltre, attraverso metodi e sistemi avanzati di modellizzazione e gestione dei dati, permette di generare la comprensione di fenomeni che non sarebbe possibile ottenere attraverso modelli di osservazione tradizionali.

Il gemello digitale prende quindi in considerazione tre componenti principali:

- l'entità fisica;
- la rappresentazione digitale;
- la connessione fra l'entità fisica e quella digitale.

La rete dinamica di connessioni tra le due entità è rappresentata dalle informazioni estraibili dal flusso di dati dal mondo fisico e dalla comprensione profonda dei processi fisici replicati virtualmente nella rappresentazione digitale.

Ad esempio, un gemello digitale può essere usato per monitorare, diagnosticare e prevedere, per ottimizzare processi, le prestazioni e l'utilizzo di sistemi e servizi. I dati dei sensori possono essere combinati con dati storici, esperienza umana e simulazioni imparando a migliorare la capacità di previsione e di gestione.

Gemello digitale e impatto climatico e ambientale

Il gemello digitale è basato su un approccio multidisciplinare che si pone l'obiettivo di andare oltre lo stato dell'arte e necessita, per essere efficace, di una vasta gamma di competenze. Alcuni aspetti ed esempi che permettono di comprendere le potenzialità per ridurre l'impatto climatico riguardano:

- la possibilità di utilizzare questo strumento intrecciando alla rappresentazione fisica della città e dei suoi servizi, dati e modelli di aspetti meteorologici e climatici con scenari di rischio, così da poter verificare l'efficacia di interventi di adattamento, ad esempio per la regimazione urbana delle acque in caso di eventi estremi di pioggia;

- l'utilizzo del gemello digitale per la valutazione dell'efficacia di strumenti pianificatori urbani per l'accelerazione dei processi di abbattimento delle emissioni;
- l'utilizzo dei dati sulla mobilità e sulle emissioni di gas climalteranti e inquinanti, intersecati a scenari e modelli di mobilità urbana, possono permettere al gemello digitale di valutare l'efficacia di restrizioni al traffico veicolare;
- la possibilità di ottimizzare efficienza degli edifici rispetto alla variazione climatica storica e attesa, alla specifica esposizione e orientamento, per aumentare la capacità dei cittadini, delle imprese e del pubblico di simulazione della produzione di rinnovabili sito-specifica;
- l'ottimizzazione dei sistemi energetici per la produzione e distribuzione di flussi e cascami termici e vettori per la produzione di calore per la pianificazione di sistemi territoriali di teleriscaldamento e teleraffrescamento.

Un nuovo ecosistema dei dati della città: sostenibile, pubblico, democratico, inclusivo, etico

Il gemello digitale deve basarsi su una nuova *governance* dei dati urbani, da quelli ambientali a quelli generati dai servizi della città e dall'interazione con i cittadini. Un ecosistema dei dati realistico, innovativo e sostenibile. Un ecosistema dei dati centrato sul riconoscimento del valore assoluto della *privacy* dei singoli ma anche sul valore pubblico e l'impatto (politico, sociale e ambientale oltre che economico) del dato, che sia basato su un patto tra città e i suoi cittadini per la condivisione e l'uso sociale e democratico dei dati e che ponga quindi il valore pubblico dei dati come concetto fondante.

È importante riconoscere che la strada delle esperienze ormai decennali in ambito di *techno-city*, *data-driven city*, *smart city*, ecc., è costellata anche da parziali o completi fallimenti, causati dall'incapacità di evitare alcuni errori strutturali che richiamiamo qui sotto:

- non considerare la città come un sistema complesso con processi articolati e interessi contrastanti e invece intenderla come una macchina conoscibile, razionale e governabile;
- non promuovere soluzioni politiche/sociali e di democrazia deliberativa centrata sul cittadino e sugli obiettivi di *policy* e dare invece enfasi all'adozione di soluzioni meramente tecniche, sviluppando forme tecnocratiche di governo dall'alto verso il basso;
- non riconoscere il bisogno di soluzioni su misura e diversificate per le caratteristiche, i vincoli e le necessità della città, anche estensibili e modificabili nel tempo e invece considerare le soluzioni come a-storiche e a-spaziali, promuovendo soluzioni tecniche a taglia unica;
- interpretare le tecnologie impiegate come oggettive, pragmatiche e politicamente benevole piuttosto che completamente politiche, riflettendo i punti di vista e i valori dei loro sviluppatori e *stakeholder*;

- non tenere in primo piano l'interesse pubblico e il bene comune e invece promuovere attraverso la tecnologia l'aziendalizzazione e la privatizzazione dei servizi cittadini, con gli sviluppatori di tecnologie delle città intelligenti che catturano le funzioni della città come opportunità di mercato;
- non riconoscere che le tecnologie impiegate hanno profondi effetti sociali, politici ed etici, e introducendo nuove forme di regolamentazione sociale, controllo e *governance*, estendendo la sorveglianza ed erodendo la *privacy* mediante il *profiling* predittivo del comportamento dei singoli.

Le funzioni del gemello digitale

In termini generali, il gemello digitale potrà ospitare e supportare l'esecuzione di funzioni di *data analytics* per la valorizzazione dei dati urbani di cinque tipologie¹⁴:

- *descrittivi* di sistemi complessi e per il monitoraggio degli effetti di azioni di *policy* o di mancanza di azione;
- *diagnostici*, per l'individuazione di nessi causali e diagnosi dei sistemi urbani;
- *predittivi*, per anticipare rischi emergenti o per simulare l'evoluzione di situazioni di rischio;
- *prescrittivi*, come supporto alle decisioni;
- *partecipativi*, attraverso la visualizzazione e la possibilità di testare gli effetti di decisioni diverse attraverso il punto di vista di attori con ruoli e interessi anche contrastanti.

Attraverso l'uso di questi dati, nelle città potrebbero essere realizzati degli spazi virtuali o fisici, degli *acceleratori di mitigazione e adattamento*, in cui si incontrino – attorno al gemello digitale, il quale rappresenta l'integrazione delle conoscenze sul territorio – gli attori istituzionali e non istituzionali:

- **ricercatori**, capaci di sviluppare scenari e modelli e utilizzare dati e procedure complesse di analisi, finalizzati allo sviluppo di progetti per la città e a opportunità di ricerca scientifica;
- **imprese e tecnici**, interessati allo sviluppo di innovazione di prodotti e di servizi, all'aumento della capacità di attrazione di investimenti e alla realizzazione di un ecosistema utile per *start-up* capace di cogliere in modo agile tutte le opportunità e i nuovi modelli di *business* resi possibili dalla disponibilità dei dati "open" del gemello digitale;
- ***policy makers* e amministratori cittadini**, che utilizzano il flusso di dati con ricadute positive in ogni ambito della pianificazione, della gestione e dello sviluppo della città;
- **cittadini e associazioni della società civile**, per aumentare le capacità di conoscere la propria città, tutelare interessi propri e della comunità, proporre idee e partecipare a processi di *governance* democratica e di *co-design*. Quest'ultimo aspetto, che affronta i processi di partecipazione, appare essere la funzione potenzialmente più rilevante che molte esperienze hanno sviluppato in modo significativo, consegnando le chiavi

descrittive della città in mano ai propri cittadini per processi di co-decisione basati sulla conoscenza.

Box 11: Città e gemelli digitali esistenti

Nell'ambito del Piano di Ripresa e Resilienza, il tema del gemello digitale è stato sviluppato in diversi progetti presentati da Bologna e Catania, mentre compare nella Missione sulla ricerca per quanto riguarda il campione nazionale sul supercalcolo (HPC). Su quest'ultimo si segnala anche il recente accordo fra Bologna e Barcellona sul gemello digitale che coinvolge le amministrazioni i due centri di supercalcolo e le Università.

Fra le città europee che già hanno intrapreso lo sviluppo di un gemello digitale si segnalano:

- **Anversa:** il *digital twin* supporta i decisori politici e lo sviluppo urbano per prendere decisioni complesse sulla qualità del vivere. La replica 3d digitale combina modelli computazionali con i dati per l'inquinamento, offre dati consultabili e sistemi predittivi della situazione in città e può essere simulato e testato l'impatto delle misure di mitigazione. <https://www.imec-int.com/en/articles/imec-and-tno-launch-digital-twin-of-the-city-of-antwerp> ;
- **Helsinki:** un gemello digitale è stato sviluppato per la visualizzazione, il coinvolgimento pubblico e la partecipazione <https://kartta.hel.fi/3d/mesh/Kalasadama/>; <https://www.hel.fi/helsinki/en/administration/information/general/3d/view/> ;
- **Rennes:** un gemello digitale costruito su specifici casi studio <http://3d.rennes2030.fr/Rennes2030/> ;
- **Amsterdam:** <https://ec.europa.eu/jrc/communities/en/community/digitranscope/useful-link/digital-twin-amsterdam> ;
- **Rotterdam:** un gemello digitale costruito per le infrastrutture chiave <https://www.portofrotterdam.com/de/nachrichten-undpressemitteilungen/hafen-rotterdam-arbeitet-mit-ibminternet-of-things-an> .

Fra le città non UE più interessanti oltre a Zurigo¹⁵, Dubai, Cambridge, troviamo **Singapore** che rappresenta l'esempio più avanzato di Digital Twin:

<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore/video-gallery>
https://www.youtube.com/watch?time_continue=29&v=y8cXBSI6o44&feature=emb_title/

¹ Liu, X., & Dijk, M. (2022). The role of data in sustainability assessment of urban mobility policies. *Data & Policy*, 4, E2. doi:10.1017/dap.2021.32

² Yeh, S. et al. (2022) Improving future travel demand projections: a pathway with an open science interdisciplinary approach. *Progress in Energy*, n. 4; <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac86b5>

³ The Future of Trucks, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

⁴ Global Smartphone Sales May Have Peaked: What Next?, www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2020/English/wpiea2020070-print-pdf.ashx

⁵ Baranzelli, C. et al. (2019). The future of cities - Opportunities, challenges and the way forward, Joint Research Centre (European Commission), <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a55c1af0-8e52-11e9-9369-01aa75ed71a1/language-en>

⁶ Fagnant, D.J., e Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 77, 167-181

⁷ Correia, G., Milakis, D., Van Arem, B., e Hoogendoorn, R. (2016). Vehicle automation and transport system performance. *Handbook on transport and urban planning in the developed world*, 498-516.

⁸ Background on: Pay-as-you drive auto insurance (telematics), Insurance Information Institute, www.iii.org/article/background-on-pay-as-you-drive-auto-insurance-telematics

⁹ "The Innovative Mobility Landscape: The Case of Mobility as a Service", International Transport Forum Policy Papers, No. 92, OECD Publishing, Paris. <https://www.itf-oecd.org/innovative-mobility-landscape-maas>

¹⁰ "Developing innovative mobility solutions in the Brussels-Capital Region", International Transport Forum Policy Papers, No. 97, OECD Publishing, Paris <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/innovative-mobility-brussels-capital-region.pdf>

¹¹ Nativi, S., Delipetrev, B., Craglia, M., JRC, European Commission, Destination Earth, Initial survey on "Digital Twins" technologies and activities relevant to the Green Deal, 2020. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC122457>.

¹² Mishra, K.N., and Chakraborty, C., A Novel Approach Toward Enhancing the Quality of Life in Smart Cities Using Clouds and IoT-Based Technologies, in Digital Twin technology and smart cities, Farsi, M., Daneshkhah, A., Hosseinian-Far, A., Jahankhani, H., Eds, Internet of Things, Springer 2020.

¹³ Huawei idc 2020: How Digital Twins Enable Intelligent Cities

¹⁴ Ehab Shahat, Chang T. Hyun and Chunho Yeom, City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda, Sustainability 2021, 13, 3386. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3386>

¹⁵ Schrotteler, G., Hurzeler, C., The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning, PFG (2020) 88:99–112 <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00092-2>

CAPITOLO 10

Strumenti economici e di mercato a disposizione delle aree urbane

Ing. Pierpaolo Cazzola

Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Center on Global Energy Policy, School for International Public Affairs, Columbia University e Struttura Tecnica di Missione, MIMS

Prof. Massimo Tavoni

Dipartimento di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano e Struttura Tecnica di Missione, MIMS

Il caso economico per decarbonizzare le aree urbane

Le città sono i luoghi in cui i ritorni economici e sociali della transizione climatica possono essere più significativi, vista l'alta densità di popolazione e il fatto che le città rappresentano il motore economico della civiltà moderna. I costi di investimento iniziali per ridurre le emissioni di CO₂ variano da città a città, a seconda della struttura e delle tecnologie preesistenti.

Ciò nonostante, i benefici di tali investimenti sono spesso stimati superiori, quando si considerino sia i risparmi diretti, sia i co-benefici per la salute dovuti, ad esempio, alla qualità dell'aria, alla maggiore attività fisica e alla riduzione del rumore. Spesso i co-benefici sono decisivi per l'analisi costi-benefici, in particolare per quelle città, come molte in Italia, afflitte da seri problemi di inquinamento atmosferico. Ciò evidenzia la necessità di valutare la transizione climatica nel suo valore per la società e non solo sul ritorno economico diretto degli investimenti.

Nonostante la transizione ecologica paghi in città più che altrove, le città spesso si trovano in difficoltà ad attuare i piani di decarbonizzazione. Diverse sono le ragioni. Innanzitutto, molte delle misure previste prevedono uno spostamento dai costi operativi a quelli di investimento: questo richiede accesso al capitale a bassi costi di finanziamento e una prospettiva di lungo periodo in cui i benefici e i co-benefici si concretizzano. Inoltre, i costi e i benefici della transizione sono distribuiti fra i diversi *stakeholders* e dunque caratterizzati da "relazioni di agenzia": la municipalità in altre parole si può trovare a fronteggiare costi netti mentre i benefici possono afferire ad alcuni cittadini direttamente o indirettamente. Infine, le municipalità hanno spesso limiti di spesa e vincoli di sostenibilità finanziaria che possono limitare gli investimenti necessari per la transizione.

Diversi sono gli approcci che le città possono perseguire per rafforzare la propria credibilità finanziaria. Innanzitutto, le città possono aumentare la propria autonomia fiscale. La tassazione è lo strumento primario ma è di fatto regolato a livello statale in Italia, così come nella maggior parte del mondo. Le città hanno maggiore autonomia sulle risorse provenienti da attività commerciali. Inoltre, poiché i benefici degli investimenti pubblici sono spesso ottenuti da un ristretto numero di privati che guadagnano un profitto netto – si pensi al caso delle infrastrutture di trasporto come metro e treni – sono stati sviluppati dei meccanismi di “*land-value capture*” che riconoscono valore all’investimento pubblico e pertanto ne facilitano l’esecuzione. Esempi di questo tipo includono sviluppo diretto o in *partnership* con il settore privato di terreni vicini alle nuove infrastrutture – come successo a Londra e Hong Kong, tramite accordi con i costruttori o tasse locali. Tutte queste iniziative richiedono però buona capacità di amministrazione.

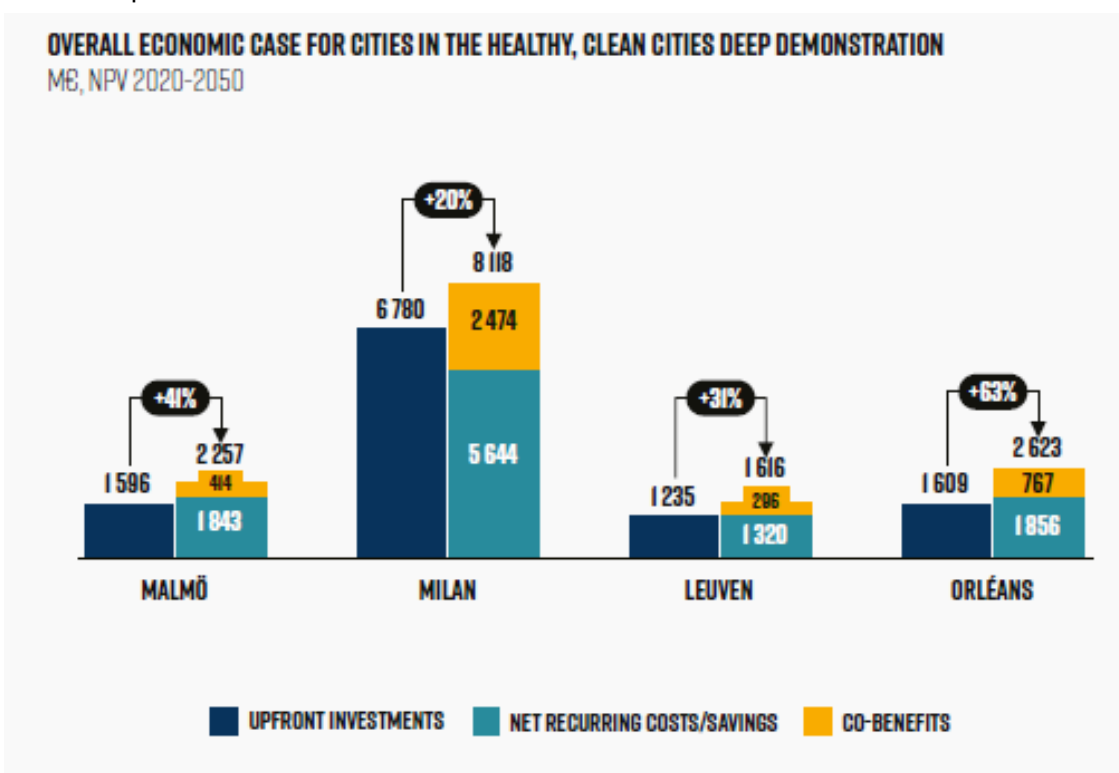


Figura 12: Costi e benefici della transizione climatica in quattro città europee. Fonte: 'Understanding the economic case for decarbonizing cities', link: <https://materialeconomics.com/latest-updates/understanding-the-economic-case-for-decarbonizing-cities>

Nonostante il ruolo pubblico locale sia fondamentale per favorire la transizione climatica, è importante ricordare come la maggior parte degli investimenti sia comunque di natura privata, *in primis* negli edifici. Questi investimenti sono influenzati da fattori economici e da politiche spesso al di fuori della competenza delle città, come avviene, ad esempio, con gli incentivi per l’efficienza energetica o la mobilità elettrica. Le città possono comunque supportare finanziariamente gli investimenti verdi o ridurre i rischi di investimento tramite fondi di investimento. Ciò richiede capacità amministrative e forti relazioni tra le municipalità e il sistema bancario locale.

La finanza per contrastare il cambiamento climatico nelle aree urbane

I finanziamenti e gli investimenti per contrastare il cambiamento climatico nelle aree urbane sono importanti nel panorama della *climate finance* internazionale. La *Climate Policy Initiative* stima che la "finanza climatica urbana" ammonti (nel 2017-18) nel mondo a oltre 380 miliardi di dollari (Figura 13)^A. Per quanto significativo, questo numero rappresenta meno del 10% di quello necessario per costruire una infrastruttura urbana a basse emissioni e resiliente. A livello mondiale, la maggior parte di questi flussi finanziari climatici è avvenuta in Asia (187 miliardi) e in Europa (85 miliardi). La maggior quota di investimento deriva dalle famiglie, per investimenti in mobilità elettrica ed efficienza energetica, anche se il maggiore finanziatore rimane il governo.

Meno del 10% della finanza climatica urbana è stata dedicata all'adattamento, mentre la parte restante ha finanziato interventi di mitigazione (vale a dire per la riduzione delle emissioni) e si è concentrata quasi interamente nei settori dei trasporti e degli edifici. Nei trasporti, due terzi della finanza urbana globale nel 2018 hanno finanziato metro, tram e bus elettrici e un quarto auto elettriche. Negli edifici, la quota maggiore è andata a investimenti in efficienza energetica, seguita da elettricità e calore rinnovabili e da elettrodomestici.

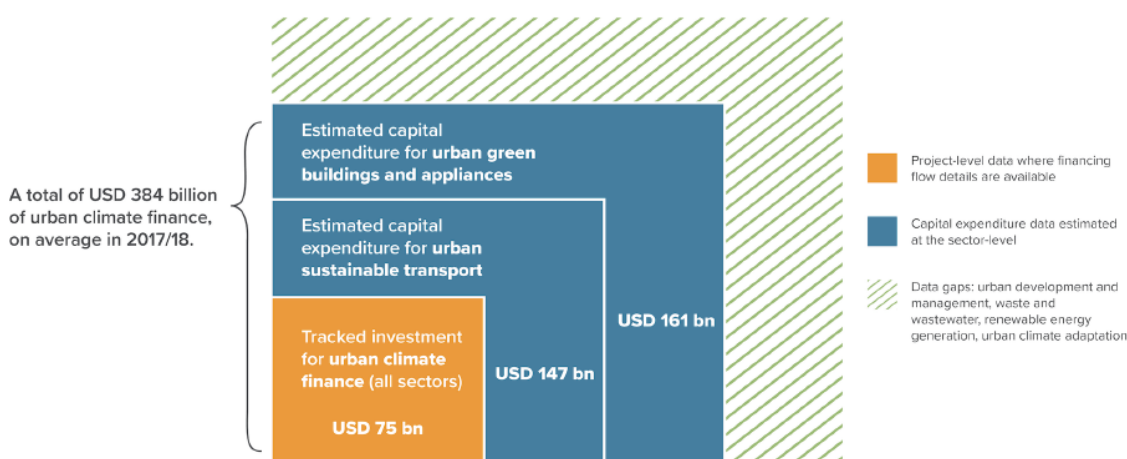


Figura 13: Stime di finanza climatica urbana a livello globale. Fonte: https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2021/06/SCCF_PART1-FINAL-1.pdf

La difficoltà delle città nel reperire le risorse necessarie per la transizione ha spinto meccanismi innovativi che possano sostenere gli investimenti sul clima per il settore urbano. Tra questi, i partenariati pubblico-privato – PPP, il finanziamento del debito e la cattura del valore fondiario (*land-value capture*, già menzionato) hanno il maggiore potenziale per mobilitare la finanza privata¹.

^A Le stime però sono complesse: 75 miliardi sono stati individuati da dati a livello di progetto. I rimanenti risultano dalle spese in conto capitale nei settori dell'edilizia e dei trasporti.

I PPP sono particolarmente importanti nelle città con sistemi finanziari maturi. In questi casi, le città possono abilitare le proprie infrastrutture come la produzione e la distribuzione di energia rinnovabile, le reti idriche e di fognature e i miglioramenti edilizi per generare flussi di entrate per i consumatori che incentivino gli investitori privati ad acquistare azioni come investimento a lungo termine. Il finanziamento del debito tramite obbligazioni sub-nazionali e prestiti, incluse le obbligazioni municipali, è un altro strumento che può permettere la raccolta anticipata di capitali, in particolare per le città ricche. La loro quota nel panorama finanziario è in crescita ma esistono comunque vincoli dovuti ai limiti di finanza pubblica e alle capacità fiscali dei governi.

In Europa, le autorità locali sono responsabili solo dell'1% dei *bonds* sostenibili rilasciati negli ultimi tre anni. La Svezia è il paese più avanzato ma diversi altri paesi europei stanno sperimentando i *green bonds*. I *green bonds* possono fornire alle città accesso ad un minor costo del capitale, ma il mercato deve affrontare sfide legate allo *scaling up* e sono stati finora associati a un impatto ambientale misurabile limitato.

Le città hanno anche di solito una popolazione con un migliore accesso all'educazione, maggiore capacità economica e maggiore sensibilità ai temi ambientali (anche per via di maggiore esposizione a fattori inquinanti, come nel caso della qualità dell'aria) rispetto alle zone rurali. Pertanto, esse sono maggiormente in grado di supportare politiche economiche basate sul principio "chi inquina paga". In questo contesto si possono menzionare misure come quelle relative al *carbon pricing*, al *road pricing* o ad altre forme di pagamenti specifici, già sviluppati in alcuni ambiti urbani. Alcuni esempi sono discussi brevemente nel Box 11.

Box 12: I sistemi di *carbon-pricing* per le città e altre forme di intervento

Il *knowledge hub* delle C40 ha una pagina dedicata al *carbon pricing* nelle città ([Link](#)) ed evidenzia i vantaggi in termini di responsabilità e sostenibilità finanziaria, di trasparenza e di armonizzazione con le politiche regionali e nazionali.

Nonostante i sistemi di *carbon pricing* per le città siano al momento strumenti poco diffusi, esistono casi di studio importanti. Nel 2010, Tokyo ha introdotto il primo *cap and trade* system a livello urbano rivolto ai grandi edifici e alle imprese. La Cina ha introdotto un sistema simile per diverse città nel 2013, fra cui Pechino. Questo progetto pilota si è poi espanso per divenire nazionale.

Nel settore dei trasporti, un caso rilevante per il tema della tassazione dell'inquinamento dell'aria, sia locale che globale, e di altri impatti negativi (come il traffico) è quello del *road pricing* (o *congestion charging*). Questo consiste nell'applicazione di tariffe per l'ingresso e/o il transito in zone specifiche delle città ed è già in uso in diverse città europee, come Londra, Stoccolma e Milano.

In modo indiretto, gli standard sulla costruzione di nuovi edifici implicano anche dei costi che impongono a chi inquina di pagare. In alcuni casi, come quello di Londra, il mancato rispetto degli standard può essere sostituito da un pagamento ad un fondo di compensazione.

Il settore dei trasporti

La transizione verso un futuro sostenibile in ambito urbano richiede misure che modifichino i costi sociali e ambientali generati dai sistemi di trasporto. Tali costi non sono limitati a quelli legati alle emissioni di gas climalteranti ma includono anche altre

esternalità, come il tempo perso a causa del traffico, i rischi per la sicurezza dovuti agli incidenti, le variazioni del valore della proprietà, gli impatti sanitari dovuti a inquinanti locali e il rumore e le limitazioni di accessibilità dovuti alla separazione delle aree urbane dalle infrastrutture di trasporto².

Per indirizzare le scelte di investimento, sia pubbliche che private, verso soluzioni capaci di ridurre gli impatti appena citati, è fondamentale fare in modo che i costi di questi impatti siano integrati nel processo decisionale degli investitori.

Gli strumenti politici disponibili per ridurre questi costi includono:

- a) le misure di natura economica, come la tassazione o gli schemi *cap-and-trade*;
- b) le politiche regolatorie, come le limitazioni di accesso a categorie specifiche di veicoli, anche in funzione della motorizzazione, in base alle prestazioni delle diverse opzioni rispetto ad indicatori di impatto;
- c) una combinazione delle due categorie.

La combinazione di diversi strumenti è la soluzione più pragmatica e probabilmente migliore, dal momento che offre importanti opportunità per affrontare problemi di varia rilevanza a diversi livelli amministrativi grazie alla sua flessibilità. Ciò è particolarmente importante nelle aree metropolitane, in cui i gradi di esposizione all'inquinamento e i livelli di congestione del traffico non sono uniformi.

Il caso delle città è anche particolarmente rilevante per lo sviluppo di politiche che promuovano l'innovazione, che richiedono una riduzione del profilo di rischio per investimenti in nuove tecnologie. Le città possono infatti creare mercati che ancora non siano sufficientemente forti (come quello degli autobus elettrici o di soluzioni integrate di trasporto pubblico e micro-mobilità elettrica), sostenendoli con scelte anche infrastrutturali (come lo sviluppo di colonnine di ricarica nei depositi, il rafforzamento della rete di trasporto e distribuzione dell'elettricità, la riallocazione di porzioni delle infrastrutture viarie alla micro-mobilità, specie in prossimità di stazioni di trasporto pubblico ad alta o media capacità).

L'importanza delle aree urbane risiede quindi proprio nelle maggiori opportunità offerte dai "co-benefici", dal momento che questi aumentano il valore sociale offerto dalla transizione di tecnologie con caratteristiche migliori in termini di impatto ambientale.

Politiche nazionali o sovranazionali	Impatti				Bilancio economico pubblico	Equità sociale
	Gestione della domanda di trasporto e <i>shift</i> modale	Miglioramento dell'efficienza energetica	Riduzione dell'intensità di carbonio dei vettori energetici	Riduzione delle emissioni di inquinanti locali e del rumore		
Strumenti di natura economica						
Incremento della tassazione dei combustibili fossili	✓	✓	✓	X	Beneficio netto	Impatto generalmente negativo, che richiede misure volte a gestirlo
Tassazione differenziata dei veicoli (sulla base dei livelli di efficienza energetica e delle emissioni dirette)	X	✓	Se differenziato in base alle tecnologie dei veicoli	Se promuove veicoli a zero emissioni dirette	Costo o beneficio dipendente dalla natura dell'intervento	Impatto dipendente dal tipo di risposta comportamentale
Politiche regolatorie						
Regolamenti relativi al contenuto di carbonio di origine fossile dei vettori energetici	X	X	✓	Se promuovono veicoli a zero emissioni dirette	Costo netto	Impatto generalmente negativo, che richiede misure volte a gestirlo
Regolamenti relativi all'efficienza dei veicoli e ed alle emissioni di CO ₂ /km	X	✓	Se differenziato in base alle tecnologie dei veicoli	Se promuovono veicoli a zero emissioni dirette	Impatto limitato	Impatto dipendente dal tipo di risposta comportamentale
Regolamenti relativi alle emissioni di inquinanti locali dei veicoli	Se relativi a limitazioni di circolazione per veicoli inquinanti	Se differenziato in base alle tecnologie dei veicoli	Se differenziato in base alle tecnologie dei veicoli	✓	Impatto limitato	Impatto dipendente dal tipo di risposta comportamentale

Tabella 20: Principali politiche nazionali o sovranazionali che incidono sulle attività di trasporto, sull'uso dell'energia e sulle emissioni di gas climalteranti, oltre ad altri impatti ambientali

Politiche locali	Impatti				Bilancio economico pubblico	Equità sociale
	Gestione della domanda di trasporto e <i>shift</i> modale	Miglioramento dell'efficienza energetica	Riduzione dell'intensità di carbonio dei vettori energetici	Riduzione delle emissioni di inquinanti locali e del rumore		
Strumenti di natura economica						
Parcheggi a pagamento	✓	Se differenziati in base alle tecnologie dei veicoli	Se differenziati in base alle tecnologie dei veicoli	Se differenziati in base alle tecnologie dei veicoli	Beneficio netto	Impatto dipendente dalle scelte di reinvestimento del budget
Sussidi al trasporto pubblico ed all'integrazione con la mobilità leggera	✓	✓	Se differenziati in base alle tecnologie dei veicoli	✓	Costo netto	Impatto generalmente positivo
Tassazione differenziata degli immobili in base all'ubicazione (per cattura del valore fondiario o <i>land value capture</i>)	Impatti positivi se associata a pianificazione dello sviluppo urbano che limita l' <i>urban sprawl</i> ed integra lo sviluppo del trasporto pubblico lungo gli assi principali di spostamento (<i>transit oriented development</i>)				Beneficio netto	Impatto dipendente dalle scelte di reinvestimento del budget
Accesso a pagamento a porzioni dell'area urbana e/o della rete stradale	✓	✓	Se differenziato in base alle tecnologie dei veicoli	✓	Beneficio netto	Impatto generalmente negativo, che richiede misure volte a gestirlo
Politiche regolatorie						
Pianificazione dello sviluppo urbano	Se limita l' <i>urban sprawl</i> ed integra lo sviluppo del trasporto pubblico lungo gli assi principali di spostamento (<i>transit oriented development</i>)				Costo limitato, legato allo sviluppo della politica	Impatto dipendente dai dettagli della politica
Riallocazione degli spazi urbani a favore del trasporto pubblico o della mobilità leggera	✓	✓	Impatto dipendente dal tipo di risposta comportamentale	✓	Costo limitato, legato allo sviluppo della politica ed alle infrastrutture	Impatto dipendente dal tipo di risposta comportamentale
Restrizioni di accesso specifiche categorie di veicoli (zone a traffico limitato)	✓	✓	Se differenziato in base alle tecnologie dei veicoli	✓	Costo limitato, legato allo sviluppo della politica ed alle infrastrutture	Impatto generalmente negativo, che richiede misure volte a gestirlo
Scelte infrastrutturali						
Investimenti infrastrutturali per il trasporto pubblico e l'integrazione con la mobilità leggera	✓	✓	Se differenziati in base alle tecnologie dei veicoli	✓	Costo netto, legato alla spesa infrastrutturale	Impatto generalmente positivo

Tabella 21: Principali politiche locali che incidono sulle attività di trasporto, sull'uso dell'energia e sulle emissioni di gas climalteranti, oltre ad altri impatti ambientali

Una lista di politiche significative che incidono sulle attività di trasporto, sull'uso dell'energia e sulle emissioni di gas climalteranti, oltre ad altri impatti ambientali, è riportata nelle Tabelle 20 e 21, differenziando tra strumenti nazionali o sovranazionali (Tabella 20) e misure adottabili dalle aree urbane a livello locale (Tabella 21).

Le tabelle che includono una caratterizzazione delle politiche rispetto ai principali impatti trasformativi per consentire una transizione verso sistemi di trasporto più sostenibili. In particolare, vengono evidenziati strumenti in grado di rispondere ai diversi tipi di impatti, il loro effetto sul bilancio pubblico e sull'equità sociale (suggerendo implicitamente quando occorre introdurre con strumenti complementari di natura redistributiva).

La discussione che segue si focalizza sulle politiche incluse nella Tabella 21, data la natura locale (che è quella di maggior rilevanza per l'oggetto di questo rapporto) e riporta considerazioni in cui si legano strumenti nazionali o sovranazionali a politiche complementari sviluppate a livello locale.

Strumenti di natura economica

Le misure economiche includono politiche che rendano la guida su mezzi individuali più costosa rispetto ad altre opzioni di trasporto, come l'accesso a pagamento a porzioni dell'area urbana e/o della rete stradale, i pedaggi su tratti specifici della rete stradale (che sono forme di *road pricing*, un approccio menzionato nel Box 11) e i parcheggi a pagamento.

Questi strumenti possono essere differenziati in base alla classe energetica o di emissioni dirette dei veicoli, al fine di promuovere l'innovazione e la transizione verso tecnologie a emissioni molto basse sul ciclo di vita.

Altri strumenti di natura economica riguardano i sussidi al trasporto pubblico, quelli finalizzati all'integrazione con la mobilità leggera e la tassazione differenziata degli immobili in base all'ubicazione, finalizzata alla cattura del valore fondiario – *land value capture* – che consente alle comunità di recuperare e reinvestire gli incrementi di valore degli immobili dovuti a investimenti pubblici e ad azioni del governo.

La cattura del valore fondiario ha impatti positivi sugli indicatori di sostenibilità se è associata a politiche di pianificazione dello sviluppo urbano che limitino l'*urban sprawl* e integrino lo sviluppo del trasporto pubblico lungo gli assi principali di spostamento (*transit oriented development*). Il recupero del valore degli immobili legato agli interventi pubblici, ad esempio nell'ubicazione di stazioni di una linea metropolitana, può essere catturato in diversi modi³:

- un approccio concerne lo sviluppo di progetti commerciali ad alto profitto come la costruzione di spazi commerciali, ristoranti e hotel all'interno o annesso alle stazioni, offrendo allo sviluppatore dell'infrastruttura l'opportunità di beneficiare dell'aumento del valore dei terreni in prossimità delle stazioni;
- un'alternativa è l'aggiornamento dei valori fondiari delle aree beneficiate economicamente dagli interventi pubblici, offrendo la possibilità di finanziare lo sviluppo del trasporto pubblico alle amministrazioni locali che beneficiano dei proventi della tassazione sui terreni e gli edifici.

A lungo termine, gli strumenti di natura economica saranno sempre più importanti per assicurare, come minimo, la possibilità di ottenere risorse per lo sviluppo e la manutenzione delle infrastrutture necessarie per il funzionamento del sistema di trasporto. Ciò è particolarmente rilevante in un contesto che vedrà una progressiva transizione verso vettori energetici a basse emissioni di carbonio ovvero una transizione che eroderà inevitabilmente la base imponibile dei combustibili fossili utilizzata per sostenere gli investimenti nelle infrastrutture (e non solo)⁴.

La questione di giustizia sociale delle politiche climatiche è particolarmente rilevante per gli strumenti di natura economica che producono incrementi di costi per i cittadini. Ciò richiede il rafforzamento di strumenti redistributivi, volti a ridurre il peso di queste variazioni di costo per chi ha minori risorse. Non si tratta solo di un tema morale ma risulta determinante anche per l'accettabilità delle politiche stesse⁵: la giustizia percepita delle politiche ambientali è infatti il fattore più importante per la loro accettabilità pubblica⁶.

Un vantaggio degli strumenti di natura economica, anche per lo sviluppo di misure redistributive, è che possono generare gettito fiscale. Se usato correttamente, il gettito fiscale può compensare e anche favorire le classi sociali più disagiate (si veda proposta di *emission trading scheme* nei settori trasporto ed edifici per quanto riguarda il *Social Climate Fund*). Purtroppo, l'evidenza mostra come spesso le politiche di riutilizzo del gettito fiscale abbiano un impatto limitato sulla accettabilità sociale delle politiche fiscali, perché sono percepite non da un punto di vista economico ma identitario⁷. Campagne informative che spieghino i benefici delle politiche redistributive sono necessarie per assicurare un loro funzionamento.

Box 13: Prevedere risorse per contrastare gli impatti sociali – il Fondo Sociale per il Clima del FF5

Il pacchetto Fit-for-55 sul quale il Consiglio Europeo ha deliberato una posizione comune ed è attualmente in negoziazione con Parlamento e Commissione, prevede fra le varie proposte legislative la creazione di un nuovo mercato di permessi negoziabili di CO₂ nei settori trasporto e degli edifici chiamato in sigla ETS2 (*Emission Trading System 2*). L'ETS2, si affiancherebbe dunque all'attuale ETS che è il più grande mercato di permessi di CO₂ al mondo e che riguarda i settori di generazione elettrica e industriali. Se approvato, l'ETS2 avrà ripercussioni anche sulle aree urbane, affiancandosi e forse sostituendo le iniziative di *carbon pricing* complementari all'ETS che diversi paesi europei – esclusa l'Italia – hanno istituito.

Il sistema ETS2 ha lo scopo di raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni del 43% (rispetto al 2005) per i due settori coinvolti, in modo economicamente efficiente e con capacità di generare gettito fiscale. Per l'Italia, si prevede che genererà un gettito fiscale di oltre 4 miliardi di euro all'anno. Ciò nonostante, il rischio che esso abbia impatti distributivi avversi è concreto visto che famiglie meno abbienti spendono una quota maggiore del loro reddito per riscaldare le abitazioni e per muoversi. A tale fine, la Commissione europea ha previsto un Fondo Sociale per il Clima (SCF) nel quale vengano versati circa un quarto dei proventi ottenuti dalla vendita dei permessi di CO₂ messi ad asta. Il *Social Climate Fund* sarà distribuito fra gli stati membri in base alla percentuale di famiglie a rischio di povertà energetica e sul reddito nazionale di ciascun Paese. Gli Stati membri dovranno co-finanziare il SCF e sviluppare piani adeguati di supporto alle famiglie ed imprese vulnerabili. Il fondo sarà creato prima che parta il mercato, in modo da distribuire il gettito fiscale in anticipo e aumentarne l'accettabilità sociale.

Politiche regolatorie

Agli strumenti di natura economica si affiancano diversi tipi di politiche regolatorie. Queste comprendono la pianificazione dello sviluppo urbano, la riallocazione degli spazi urbani a favore del trasporto pubblico o della mobilità leggera e l'uso di restrizioni di accesso per specifiche categorie di veicoli (come nel caso delle zone a traffico limitato).

Nella misura in cui le politiche regolatorie riducano l'attrattiva dei veicoli personali, come nel caso di restrizioni che ne limitano l'uso in determinate ore del giorno o in

specifiche aree urbane, esse forniscono anche un incentivo a fare affidamento sui servizi di trasporto pubblico, anche associati alla micro-mobilità.

Vista l'importanza dei co-benefici, in particolare riguardo alla qualità dell'aria nei contesti urbani, gli strumenti regolatori volti a gestire la domanda di mobilità e la ripartizione modale devono essere disegnati in modo da massimizzare non solo gli effetti su energia e clima ma anche altri impatti, a partire da quelli legati alla salute.^B L'evidenza empirica ha dimostrato infatti che le zone a basse emissioni hanno portato benefici per la qualità dell'aria⁸, una riduzione delle malattie respiratorie e miglioramenti della circolazione⁹. Allo stesso tempo, però, esse rischiano di spostare l'inquinamento da una zona urbana alle regioni vicine¹⁰. Per queste ragioni, le politiche regolatorie di gestione del traffico (così come quelle di natura economica, es. il caso dell'uso di tariffe di accesso o circolazione), per essere maggiormente efficaci, devono essere disegnate in modo da coprire la maggior parte delle aree ad alta densità abitativa. In questo modo i benefici delle limitazioni o pagamento di accesso e/o circolazione possono essere maggiori e non solo concentrati nelle aree più benestanti delle città e pertanto essere più progressivi ed inclusivi.

Le politiche regolatorie sviluppate in aree urbane sono complementari ai regolamenti sviluppati in ambito nazionale e/o sovranazionale che definiscano limiti relativi alle caratteristiche tecniche dei veicoli prodotti (consumo energetico, emissioni di gas serra e di inquinanti locali).

Come nel caso delle politiche tariffarie, gli strumenti normativi adottati in ambito urbano possono anche rafforzare significativamente lo sviluppo di tecnologie innovative e, specie se associati con altri strumenti sviluppati dal governo centrale^C o in sede europea^D, anche la crescita industriale.^E

Box 14: Il caso della nuova mobilità

Strumenti tariffari e regolatori sono importanti anche per gestire l'introduzione nel sistema di trasporto urbano di nuove forme di mobilità, facilitate dalle tecnologie digitali. È il caso dei veicoli per la micro-mobilità e di altri servizi basati sulla condivisione e integrati nelle piattaforme digitali. Le amministrazioni locali possono permettere che l'introduzione di questi stessi servizi sia sostenibile da un punto di vista sia economico sia ambientale. A tal fine, le autorità municipali (anche in coordinamento con quelle nazionali) potrebbero adottare regolamenti o concessioni che inquadrino l'offerta dei servizi di micro-mobilità condivisa (*market entry rules*) che richiedano il rispetto di requisiti minimi in merito alle

^B Ulteriori benefici della gestione della domanda di trasporto e dell'allocazione modale possono anche risultare dalla riduzione del traffico.

^C Come nel caso francese, per cui è stato sviluppato in quadro nazionale di classificazione dei veicoli, denominato *Crit'Air*, sulla base del quale diverse amministrazioni locali possono applicare regolazioni di accesso ed altre norme tariffarie.

^D Come nel caso della *Clean Vehicles Directive*, che richiede che le opportunità offerte dalla leva della domanda pubblica vengano orientate verso veicoli a basse emissioni dirette, e dei regolamenti sulle emissioni di CO₂ ed inquinanti locali dei veicoli, mentre altre norme si occupano della riduzione delle emissioni nelle fasi di costruzione, fine vita dei veicoli, e della produzione dell'energia.

^E Le stesse considerazioni si possono allargare a condizioni differenziate di accesso al credito e, in particolare, l'uso di tassi interesse inferiori per l'accesso al capitale necessario per investimenti in tecnologie e modalità di trasporto sostenibili. Quest'ultimo è favorito, in Europa, dallo sviluppo della tassonomia che definisce le attività sostenibili o dall'esistenza di standard di mercato come i *Green Bond Principles* dell'*International Capital Market Association* (ICMA), già usati anche per finanziare il piano *Next Generation EU*.

performance ambientali dei servizi di nuova mobilità¹¹. Ciò richiede trasparenza e condivisione di informazioni, in forma diretta o attraverso terze parti di fiducia, di una piattaforma di dati condivisi.

Buone pratiche su scala globale sono rappresentate dall'introduzione di requisiti minimi per nuovi servizi di mobilità condivisa e dall'uso di soglie minime per l'adozione di veicoli a basse e zero emissioni nelle flotte pubbliche, specie alla luce di maggiori opportunità di abbattimento di costi e impatto ambientale per veicoli ad alto tasso di utilizzo^F.

L'adozione di politiche regolatorie volte a modulare l'efficienza energetica e le emissioni di inquinanti possono essere abbinata a percentuali minime di servizi resi da veicoli a basse e zero emissioni, eventualmente integrati da incentivi economici mirati. Un esempio in tal senso è il caso di Londra, che ha annunciato nel 2016 l'obbligo per tutti i nuovi taxi di avere emissioni zero, già a partire dal 2018^G, una decisione seguita a breve da un impegno volontario di Uber a passare all'elettrico tutti i servizi effettuati nella città entro il 2025. Un secondo esempio importante è il *California Clean Miles Standard and Incentive Program*, che ha introdotto requisiti annuali di riduzione dei gas serra per passeggero-km per i servizi di *ride-sourcing* (ovvero Taxi collettivi^H).

Per soddisfare questi standard, le piattaforme di *ride-sourcing* avranno bisogno di un metodo per incentivare i propri conducenti all'acquisto o al noleggio veicoli che soddisfino gli standard obbligatori, tenendo conto di diversi profili di utilizzo per i conducenti indipendenti^I. Una soluzione possibile è anche quella di aumentare la rilevanza delle modalità di trasporto con un elevato tasso di occupazione (come nel caso di servizi di *shuttle on-demand*)^J. Un approccio alternativo, già in uso in diverse città di Brasile, Canada, Messico e Stati Uniti, si basa sull'uso di tariffe differenziate per le licenze di trasporto di taxi e servizi di *ride-sourcing* sulla base del tasso di occupazione.

Scelte infrastrutturali

Gli investimenti per lo sviluppo della rete di trasporto pubblico (affiancati ai sussidi finalizzati ad aumentarne la qualità del servizio o a ridurre i costi per gli utenti e alle

^F L'elevata energia e l'impatto delle emissioni di gas a effetto serra di taxi e veicoli per il *ride-sharing*, combinati con gli alti costi del carburante nel totale dei costi di possesso ed utilizzo, fanno di questi veicoli un obiettivo ragionevole per misure specifiche volte a migliorare la loro efficienza energetica e mitigare il loro impatto ambientale.

^G Questo fa parte di uno schema di interventi più ampio che include limiti di età obbligatori per i taxi, incentivi per la sostituzione dei veicoli, investimenti per la diffusione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici accessibili al pubblico e possibilità da parte delle società di taxi di esprimere preferenze in merito alla loro ubicazione, il sostegno finanziario per l'installazione di infrastrutture di ricarica a casa e tariffe ridotte.

^H Senato della California, 2018,

https://leginfo.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201720180SB1014

^I Supporto finanziario, assistenza e sconti (es. ordini all'ingrosso) da parte delle piattaforme di *ride-sourcing* potrebbero aiutare a soddisfare questi requisiti, così come informazioni tempestive in merito ai tempi che permettono ai veicoli più efficienti di ripagare l'investimento iniziale, grazie a costi energetici inferiori. L'impegno volontario di Uber a Londra è un esempio di come gli incentivi basati sulla piattaforma possono contribuire a risultati migliori. Uber ha infatti istituito un fondo destinato ad aiutare i conducenti a passare a un veicolo elettrico e lo ha finanziato con una tariffa per l'aria pulita di circa 0,1 USD/km^{Errore. Il segnalibro non è definito.}.

^J A riguardo, va sottolineato che esistono anche politiche di protezione sociale che si allineano efficacemente con la possibilità di ridurre l'impatto ambientale dei servizi di *ride-sourcing*. Un esempio importante è quello della *Driver Income Rule*, il primo tentativo di regolare i redditi dei conducenti di veicoli che effettuano *ride-sourcing*, adottato a New York nel 2018. Questa stabilisce un pagamento minimo per viaggio agli autisti (in base a una formula che include tempo e distanza, con una relazione inversa tra il pagamento minimo per viaggio del conducente e il km percorsi) ed integra meccanismi incentivati per servizi che offrono tassi di occupazione più alti, con chiari benefici per la riduzione della pressione sul traffico e l'impatto ambientale.

politiche di pianificazione integrata dello sviluppo urbano e dei trasporti) sono un importante complemento alle politiche tariffarie e regolatorie discusse in precedenza.

Questi investimenti si giustificano sulla base di benefici sistemici e anche come strumenti di mitigazione degli effetti regressivi di alcune delle misure che stimolano l'innovazione (dal momento che possono portare all'introduzione nel mercato prodotti soggetti a costi di investimento più alti, anche se è possibile che i costi totali di acquisizione e utilizzo siano inferiori), agendo come misure redistributive^K.

Il supporto del trasporto pubblico ha maggiore senso economico in presenza di potenziale sufficiente per l'assorbimento dei passeggeri. Sia la fornitura che l'uso dei mezzi pubblici sono molto più praticabili nelle aree urbane ad alta densità e sono ben associati con le politiche per promuovere la densificazione^L.

È proprio in questo contesto – anche al fine di allargare la disponibilità economica dell'amministrazione pubblica e sostenere, allo stesso tempo, innovazione ed equità sociale – che può essere possibile fare leva sugli effetti indiretti degli investimenti infrastrutturali effettuati in ambito urbano, come nel caso – già discusso nella sezione sulle politiche tariffarie – dell'aumento del valore di proprietà commerciali e di edifici situati in prossimità di nodi e stazioni del trasporto pubblico ad alta capacità e qualità di servizio¹².

Altre soluzioni capaci di contribuire alla creazione di un *budget* dedicato al sostegno del trasporto pubblico sono anche gli strumenti tariffari discussi in precedenza, dai parcheggi a pagamento al pagamento dell'accesso ad aree urbane o tratti della rete stradale^M.

Gli edifici

Le attività immobiliari rappresentano quasi un quinto del PIL italiano, la percentuale più alta in Europa. Considerato il valore strategico anche per i patrimoni privati, gli edifici sono regolamentati in buona misura da leggi nazionali – anche conseguenti a Direttive europee – e da regolamentazioni comunali.

I Governi e i Comuni possono quindi svolgere un ruolo fondamentale per promuovere l'efficienza energetica e l'adozione di tecnologie a basse emissioni. In particolare, le

^K In linea con le osservazioni precedenti, è opportuno ricordare che è anche ragionevole accoppiare strumenti incentivanti per gli operatori di trasporto pubblico finalizzati a promuovere la scelta di tecnologie ad alta efficienza energetica e basse emissioni, come il caso degli autobus elettrici a batteria. Questo grazie a profili di utilizzo più alti, maggiore rilevanza di riduzioni di costi totali grazie a costi operativi inferiori, possibilità di far leva sull'effetto di scala per ridurre i costi. Ulteriori opportunità possono derivare dall'accesso al capitale per il rinnovo del parco circolante a tassi agevolati (specie in presenza di co-investimento pubblico).

^L Una maggiore densità riduce le distanze di viaggio. Anche le città dense e ben progettate migliorano la viabilità di strade pedonali: piccoli isolati con edifici a destinazione mista (es. attività commerciali su piano terra e residenze sovrastanti) e una rete stradale ben collegata. Le misure promuovere la densificazione e quelli che mirano a gestire la domanda di trasporto, sia per i passeggeri che trasporto merci, è probabile che si traggano vantaggio a vicenda. Le zone urbane "compatte" sfruttano anche la pianificazione integrata di assi di trasporto pubblico ed uso dei terreni per promuovere uno sviluppo capace di massimizzare l'uso di trasporto pubblico e favorire allo stesso tempo la sua redditività economica, ed allo stesso tempo promuovere l'uso misto del suolo urbano, favorendo pedonabilità e ciclabilità.

^M Ciò è possibile nella misura in cui il rafforzamento dell'offerta di trasporto pubblico generi benefici sociali, grazie alla riduzione del traffico, degli impatti dell'inquinamento locale e delle emissioni di CO₂, ed è fattibile con una riallocazione di parte del reddito raccolto a livello locale.

città svolgono un ruolo fondamentale in quattro aree principali: regolamentazione, finanziamento, pianificazione e relazioni con gli attori locali. A differenza delle infrastrutture stradali, gli edifici sono di proprietà di soggetti diversi – fra cui famiglie, piccole imprese, fondi immobiliari ma anche lo stesso settore pubblico – e pertanto necessitano di una varietà di strumenti di *policy*, anche economici.

La promozione della transizione verso edifici urbani sostenibili può far leva su diversi strumenti, riassunti in Figura 14.

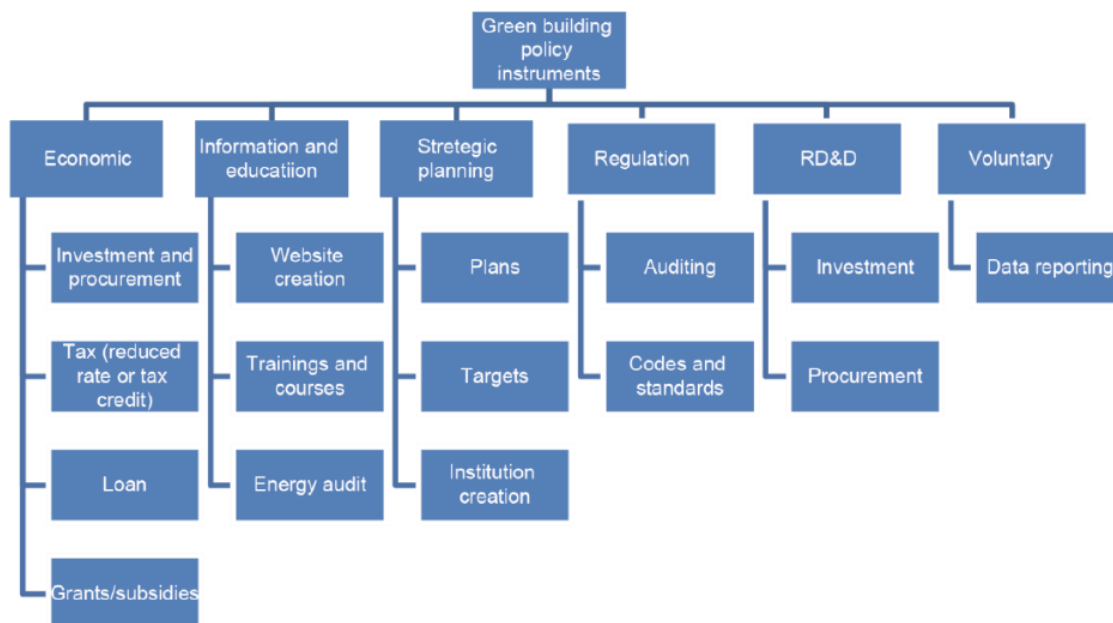


Figura 14: Politiche per decarbonizzare gli edifici. Fonte: Azhgaliyeva and Dil B. Rahut ¹³

Il primo passo è la creazione di una visione condivisa della transizione, capace di coinvolgere un’ampia gamma di attori, che comprenda sviluppatori di tecnologia, produttori, costruttori, architetti, ingegneri e urbanisti, da accompagnare con un pacchetto articolato di politiche, coprendo sia gli edifici pubblici che quelli privati¹⁴.

L’uso di strumenti di pianificazione urbana e politiche che regolano l’uso del suolo sono essenziali per limitare il rischio di *urban sprawl* e incoraggiare la densificazione. Lo sviluppo di *compact cities*, con un alto livello di integrazione tra pianificazione dell’uso del suolo e del sistema dei trasporti, fa leva su costruzioni con caratteristiche di densità più alta, specie in prossimità degli assi principali di trasporto pubblico. Queste scelte di pianificazione devono integrare le infrastrutture verdi, data la loro rilevanza anche come soluzione di adattamento ai rischi del cambiamento climatico. Per sfruttare pienamente i vantaggi dello sviluppo integrato di edifici e trasporto pubblico (*transit oriented development*), è fondamentale strutturare forme urbane ben progettate, con quartieri percorribili attorno ai nodi del trasporto pubblico e con un denso mix di alloggi, negozi, uffici e altri servizi.

Nel quadro della pianificazione, è importante considerare che le scelte infrastrutturali relative agli edifici, che sono caratterizzate da orizzonti temporali molto lunghi, vanno valutate sulla base di requisiti significativi di abbattimento delle emissioni di gas nel medio-lungo termine. È quindi essenziale, come segnalato nei capitoli precedenti,

che le infrastrutture necessarie a riscaldamento, raffrescamento e altri servizi per gli edifici possano essere compatibili con questi stessi requisiti. In particolare, è essenziale assicurare che vi sia una prospettiva chiara per queste infrastrutture di una transizione verso emissioni zero ed edifici a energia positiva, al fine di non creare rischi di *asset stranding*. In questo quadro, è chiaro che l'elettrificazione e le pompe di calore hanno un profilo molto più solido rispetto a soluzioni a combustione (anche in caso di uso di biomasse, data la competizione che ci sarà per altri usi finali, e date le conseguenze in termini di qualità dell'aria, specie in ambito urbano, dovute alla combustione di biomassa).

Le politiche regolatorie sono essenziali per assicurare la capacità di misurare le prestazioni degli edifici, in termini di efficienza energetica, su basi oggettive. La capacità di misurare le prestazioni degli edifici è anche essenziale per poter monitorare l'efficacia delle politiche di supporto alla transizione, sia per quello che riguarda gli obiettivi nazionali che quelli locali ¹⁴. Gli strumenti regolatori sono anche importanti per favorire l'integrazione e lo sviluppo di infrastrutture per i veicoli elettrici, come dimostrato dall'introduzione di requisiti minimi per parcheggi pubblici e privati nel quadro della direttiva europea sulle *performance* energetiche degli edifici.

Le città devono quindi poter assicurare che gli standard di classi energetiche dei nuovi edifici siano adeguati e favorire che siano più alti possibili. Queste verifiche sono fondamentali e relativamente facili da eseguire, vista la bassa percentuale di nuove costruzioni nelle città, ma non sono sufficienti. Per rendere più efficienti gli edifici esistenti, le città dovrebbero promuovere la trasparenza sugli standard di efficienza degli edifici. Queste informazioni, ora richieste in fase di acquisto e vendita, sono spesso di difficile accesso e limitano la trasparenza del mercato. Inoltre, le città possono fungere da esempi, applicando vincoli stringenti di uso energetico negli edifici di proprietà pubblica. Le città possono anche favorire modelli di *business* innovativi che abbassino i costi di finanziamento iniziale tramite futuri risparmi energetici, che rendano evidenti i risparmi economici e favoriscano materiali di costruzione innovativi, come quelli basati sul legno. Inoltre, le amministrazioni possono supportare la transizione rafforzando il dialogo con gli *stakeholders*, aumentando la consapevolezza della cittadinanza e fornendo supporto tecnico e finanziario alle famiglie a rischio di povertà energetica, che spesso vivono in condizioni di disagio termico.

Il quadro normativo nazionale e urbano può anche anticipare gli sviluppi regolatori comunitari, sostenendo la transizione anche in termini di sviluppo industriale.

Le politiche economiche e fiscali possono supportare le scelte di pianificazione urbana e gli strumenti regolatori, premiando edifici capaci di eccedere i requisiti minimi, sia per quello che riguarda il livello di emissioni che di consumo energetico (anche valorizzando gli edifici che siano capaci di produrre più energia di quanta ne usino). Gli incentivi fiscali, come le detrazioni, sono i più noti e anche più efficaci in Paesi come l'Italia con un'alta tassazione. Ciò nonostante, questi interventi sono costosi e tipicamente non hanno avuto l'effetto di aumentare i tassi di ristrutturazione necessari per raggiungere gli obiettivi europei.

Come in tutti i casi che caratterizzano soluzioni ad alta efficienza energetica, i costi iniziali più alti sono una barriera importante ¹⁵. Altre barriere all'adozione includono gli *split incentives* (costi di miglioramento dell'efficienza per i proprietari e benefici

per chi affitta), la mancanza di informazioni e il costo del capitale necessario per l'investimento. Occorrono dunque strumenti finanziari capaci di ridurre i costi di accesso al credito per soluzioni a basse emissioni e alta efficienza.

Un ventaglio di opzioni, riassunte in Figura 15, contribuisce a rispondere a questa necessità. Un esempio importante, relativo all'Italia, è il caso dei certificati bianchi (anche se questo strumento ha avuto applicazioni limitate, nel caso degli edifici). Altri strumenti economici sono emersi di recente includono strutture di finanziamento che consentono di rimborsare un prestito dal risparmio energetico, eliminando così la necessità di capitale iniziale. In particolare, la "on-bill-finance" abbassa le barriere dei costi di investimento, collegando il rimborso degli investimenti in efficienza energetica ai risparmi in bolletta e consentendo a chi ne beneficia di rimborsare parte o tutti i costi degli investimenti in modo graduale. Questo approccio è efficace per risolvere il problema degli *split incentives* fra proprietario e affittuario e può essere, quindi, adatto per investimenti in immobili multifamiliari o in affitto. Il *Property Assesment Clean Energy (PACE)* è un mezzo per finanziare ristrutturazioni energetiche e miglioramenti delle energie rinnovabili utilizzando obbligazioni specifiche offerte dalla municipalità (si veda la discussione su *urban climate finance*). I fondi raccolti da queste obbligazioni vengono utilizzati per prestare denaro per ristrutturazioni energetiche in edifici residenziali o commerciali. Una rivalutazione annuale della tassa di proprietà viene utilizzata per rimborsare il prestito nel lungo periodo. Poiché il finanziamento del debito in genere deve essere compatibile con le restrizioni associate ai mutui esistenti, anche i mutui energetici possono offrire un'opzione interessante.

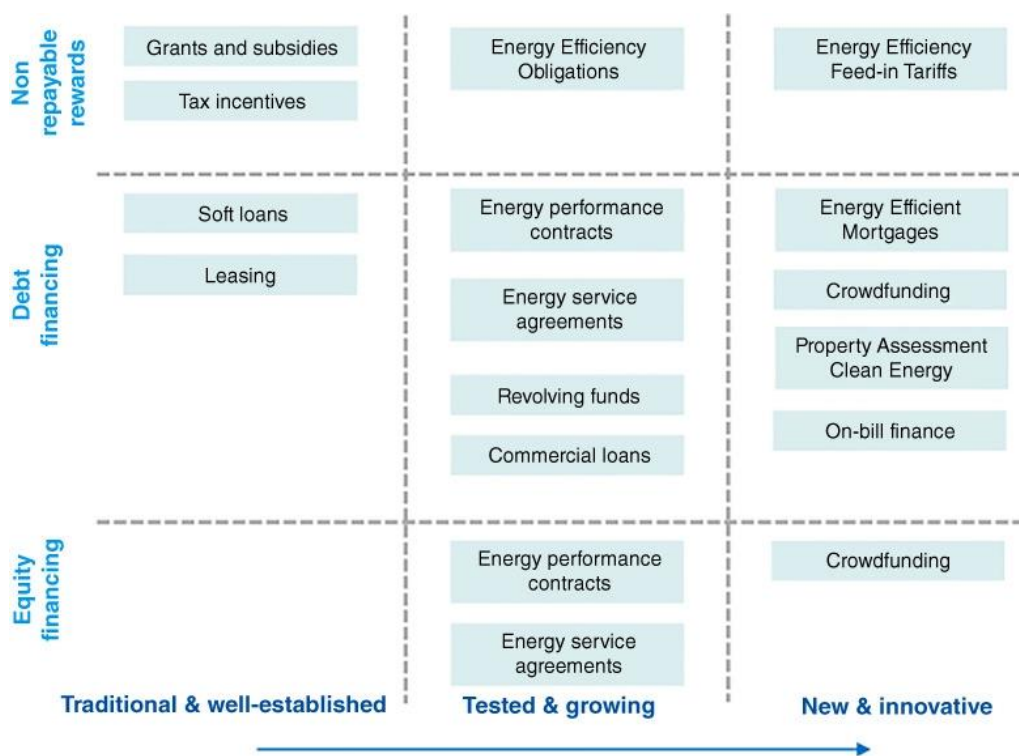


Figura 15: Strumenti di finanziamento per la ristrutturazione degli edifici. Fonte: Bertoldi et al.¹⁶

Il costo del capitale, la riduzione della complessità e la possibilità di attivare anche interventi non energetici, come le opere di miglioramento generale, incidono sul successo di questi strumenti di finanziamento.

Un vantaggio importante dei metodi di finanziamento che consentono di rimborsare gli investimenti in efficienza energetica grazie ai risparmi in bolletta è il fatto che non richiedono sussidi pubblici, offrendo quindi un'opportunità di gestire i limiti legati al debito pubblico e gli impatti distributivi dei sussidi (si pensi ad esempio alla concentrazione dei vantaggi dell'ecobonus per la parte più benestante della società).

Un sondaggio dell'OECD mostra che la principale barriera per lo sviluppo di soluzioni di decarbonizzazione nelle città è rappresentata dalla mancanza di budget (Figura 16) e conferma anche l'importanza della mancanza di motivazione e incentivi economici per i proprietari di case. L'uso di strumenti di mercato che portino gettito fiscale, come quelli discussi nel Box 15, diventa perciò prioritario. Lo stesso vale per gli strumenti che aiutano, senza bisogno di sussidi, a superare i limiti degli *split incentives*, come dei metodi di finanziamento che consentono rimborsare gli investimenti in efficienza energetica grazie ai risparmi in bolletta.

Un'adeguata tassazione delle abitazioni e degli affitti è anche uno strumento abilitatore di soluzioni per l'amministrazione pubblica, grazie alle possibilità che offre di maggiore indipendenza in termini finanziari. Ciò naturalmente richiede una adeguata valutazione del valore delle abitazioni tramite un sistema di catasto che sia aggiornato e trasparente.

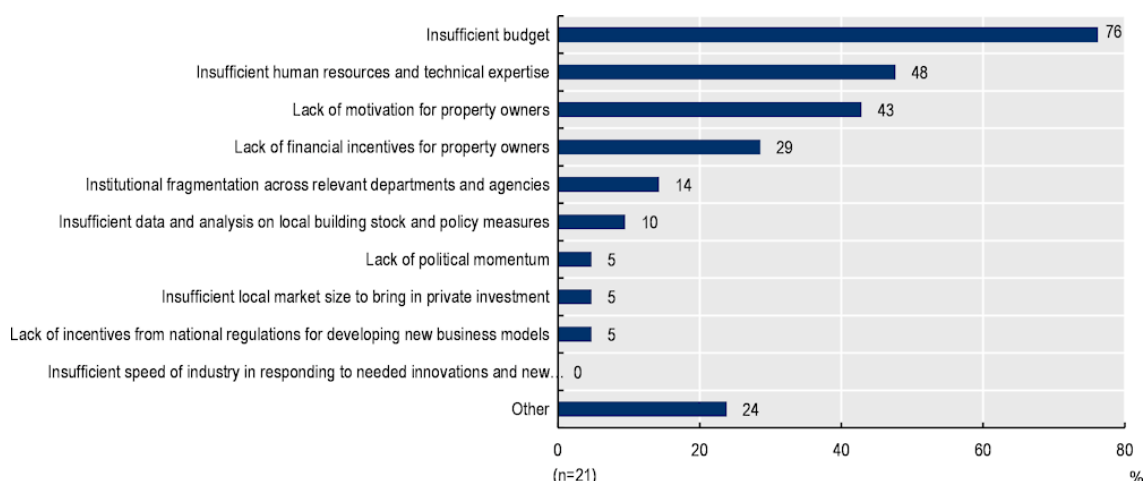


Figura 16: Ostacoli alla decarbonizzazione degli edifici nelle città
Fonte: sondaggio OECD¹⁴.

L'incremento dei prezzi dell'energia, le asimmetrie di accesso al capitale necessario per gli investimenti in efficienza e i costi di accesso al capitale sottolineano ulteriormente l'importanza di fare in modo che gli incentivi pubblici siano finalizzati al supporto di gruppi specifici della società, come le famiglie più bisognose e le piccole e medie imprese a basso reddito¹⁴.

La letteratura evidenzia anche come il mercato delle ristrutturazioni energetiche sia complesso e per molti attori gli strumenti tradizionali non bastino – si pensi agli edifici plurifamiliari, inquilini o altri. Sebbene le sovvenzioni possano fornire incentivi aggiuntivi, queste potrebbero non essere sufficienti per sorpassare le barriere del

costo iniziale. La difficoltà di prevedere il risparmio energetico genera incertezza sul rendimento, che può fungere da ostacolo alla diversificazione delle fonti di capitale esistenti. Gli strumenti finanziari innovativi che si sono sviluppati sul mercato hanno il potenziale di superare alcuni di questi ostacoli e di permettere che gli investimenti in efficienza energetica degli edifici si materializzino al tasso necessario per raggiungere gli obiettivi europei di riduzione sia di CO₂ che di risparmio energetico.

Tra le soluzioni di efficienza energetica degli edifici che sono emerse in tempi recenti è anche importante includere il caso di tecnologie digitali come sensori intelligenti, controlli per termostati e illuminazione e la gestione remota di questi stessi controlli. Un aspetto importante di queste soluzioni è che possono aiutare i consumatori a utilizzare l'energia in modo più efficiente e a favorire cambiamenti comportamentali e dello stile di vita che portino a un uso sostenibile dell'energia ¹⁷. A fronte di rischi di *rebound effect* (ovvero l'incremento di attività legato alla riduzione dei costi offerti dalle soluzioni digitali), le soluzioni digitali offrono la possibilità di massimizzare i benefici anche a livello sistemico, in una prospettiva che va al di là della singola unità e coinvolge comunità energetiche composte da diversi edifici ed infrastrutture energetiche ¹⁵. Un altro esempio in cui le soluzioni digitali possono avere effetti positivi sistemici (ma anche rischi di *rebound*) è quello delle nuove forme di mobilità, discusso nella sezione dei trasporti.

Data l'entità della transizione energetica necessaria ad allinearsi al raggiungimento della neutralità climatica al 2050, è anche importante l'adozione di politiche complementari a strumenti regolatori ed economici discussi in precedenza. Questi includono:

- interventi capaci di creare conoscenze in merito a edifici a emissioni zero e/o a energia positiva, aumentare la consapevolezza delle parti interessate, armonizzare definizioni e standard, consentire la comunicazione ¹⁵;
- interventi capaci di offrire opportunità di formazione professionale nell'energia pulita¹⁵;
- assistenza tecnica e aiuto finanziario alle famiglie e alle PMI a basso reddito¹⁴.

I governi nazionali hanno anche diversi strumenti a disposizione per complementare le azioni sviluppate a livello locale:

- lo sviluppo di programmi quadro, comuni a tutte le città e regioni, al fine di rafforzare gli incentivi all'efficienza energetica e all'energia pulita e permettere di avere accesso a un mercato di scala maggiore, oltre a facilitare l'accesso ai dati e alle informazioni per i cittadini e le imprese ¹⁴;
- migliorare il coordinamento tra i diversi livelli amministrativi, facilitando la progettazione e l'attuazione dei piani subnazionali e incorporando azioni da sviluppare in ambito locale nei piani nazionali¹⁴;
- fornire orientamento e supporto a città e regioni, per esempio con un sostegno finanziario a progetti pilota, supportando lo sviluppo di conoscenze specifiche al tema della decarbonizzazione e dell'efficienza energetica negli enti locali e nelle industrie¹⁴.

- facilitare lo sviluppo di competenze specifiche (per esempio per quello che riguarda l'installazione ottimale di pompe di calore) nella forza lavoro locale¹⁴;
- sostenere la ricerca, lo sviluppo la dimostrazione e la commercializzazione di nuove tecnologie per la decarbonizzazione degli edifici ¹⁵ .

La leva della domanda pubblica è un ulteriore strumento utile al supporto della transizione, importante, se adottato in coordinamento con gli attori economici del sistema industriale, per lo sviluppo di nuove tecnologie (come, ad esempio, i pannelli solari) sul territorio nazionale. A tal fine (e in analogia con il caso dei veicoli elettrici, per i trasporti) è possibile sfruttare il volume di mercato offerto dall'efficientamento e dalla transizione energetica (in particolare nel caso di elettrificazione con energie rinnovabili e uso di pompe di calore) degli edifici pubblici e delle condizioni che si applicano ad appalti in cui l'investimento pubblico supporta ulteriori investimenti privati¹⁴.

Rigenerazione urbana

L'importanza delle infrastrutture verdi e blu è stata già approfondita precedentemente. L'Europa considera le *Nature-Based Solutions* come una opportunità anche di sviluppo economico e di innovazione. Perché ciò avvenga, però, la valutazione anche economica del capitale naturale e della biodiversità sono necessari e devono essere istituiti a livello normativo.

Molti strumenti economici e finanziari sono stati sviluppati per stimolare la conservazione ambientale e possono essere applicati al caso della rigenerazione urbana. Ci si riferisce in particolare agli incentivi (es. sussidi e pagamenti, riduzione del rischio di finanziamento) o disincentivi (es. tasse o permessi scambiabili). Gli strumenti finanziari includono quelli discussi precedentemente, come i *green bonds*. Esistono poi strumenti di finanziamento specificamente istituiti dall'Europa, ad esempio il *Natural Capital Financing Facility* (NCFF) della Banca Europea per gli Investimenti che supporta finanziariamente e con *capacity building* i progetti basati su *Nature-Based Solutions*, quali infrastrutture verdi.

Misura	Ministero	Importo (milioni)	Tipologia	Rilevanza per la transizione climatica
Piani Urbani Integrati	Interno	2.700	Rigenerazione urbana	Tecnologie digitali per risparmio energetico
Trasporto rapido di massa	MIMS	4.400	trasporti	Rafforzamento del trasporto pubblico
Rinnovo flotte bus	MIMS	1.915	trasporti	Accelerare l'attuazione del Piano Strategico Nazionale per la Mobilità Sostenibile
Edilizia residenziale pubblica	MIMS	2.000	Edilizia pubblica	Efficientamento del patrimonio pubblico

Tabella 22: Le misure del PNRR di rilevanza per le città italiane. In grassetto le misure parte della missione 2 'Rivoluzione verde e transizione ecologica'. Fonte: Viesti et. Al ¹⁸

Box 15: Fonti di finanziamento per le città

L'Europa ha dedicato una quota ingente del suo budget, circa un terzo del *Multiannual Financial Framework* (MFF) 2021-27, al clima. Questo si traduce in un ammontare complessivo di oltre 500 Miliardi di euro nel periodo 21-27, concentrati soprattutto nella prima metà della decade. In aggiunta, di grande rilevanza per le città, il 7% del budget (oltre 120 Miliardi) è dedicato alla qualità dell'aria. Questi budget sono ripartiti in diversi programmi (Figura 17) di cui alcuni sono particolarmente rilevanti per le città. I finanziamenti per gli investimenti climatici sono storicamente derivati dagli *European Structural and Investment Funds* (ESIF), che hanno finanziato progetti di mobilità sostenibile, efficientamento e biodiversità. Altri finanziamenti europei derivano dal fondo *InvestEU* implementato dalla BEI e dalle *Urban Innovative Actions*. Il *Covenant of Mayors* mappa le opportunità di finanziamento per i piani climatici urbani (<https://www.covenantofmayors.eu/support/funding.html>).

In aggiunta, esistono iniziative nazionali e regionali ma nel passato le autorità locali e regionali hanno faticato ad accedere a questi fondi in modo continuo¹⁹. Come si evince dalla Figura 17, la maggior parte dei finanziamenti del budget europeo su clima e qualità dell'aria sono allocati nei piani di *recovery e resilience*.

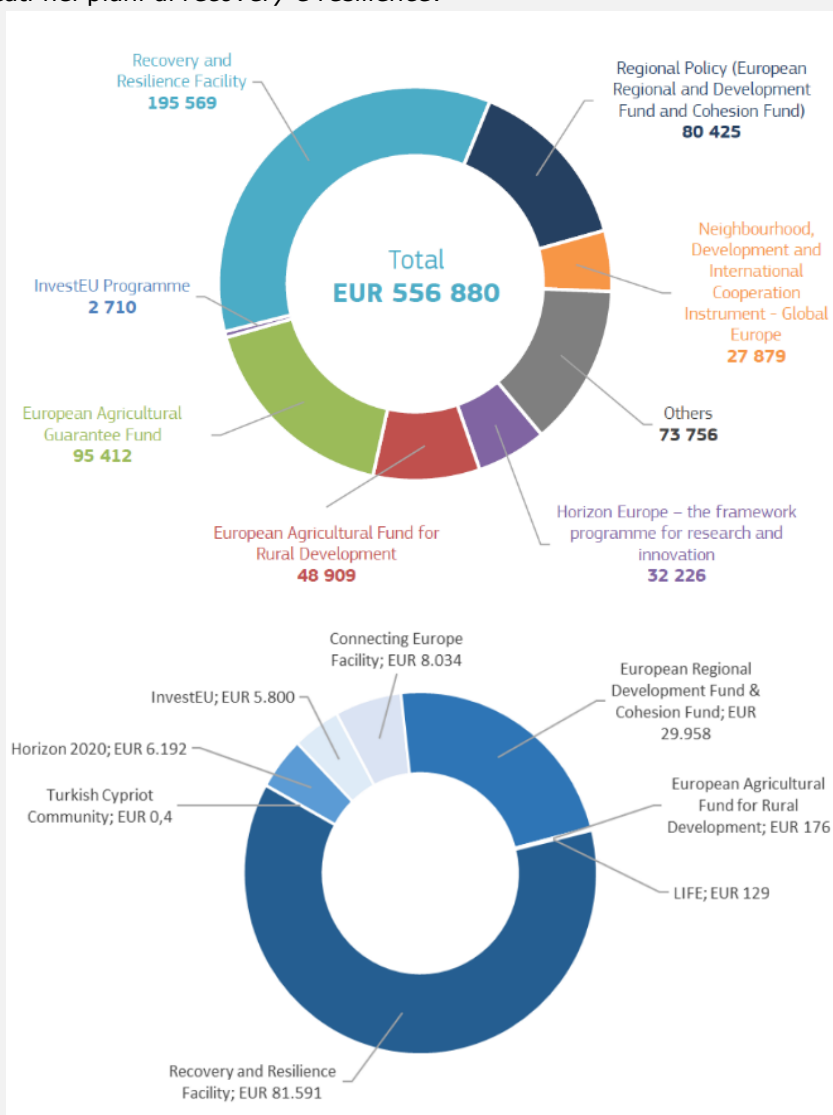


Figura 17: Contributi del MFF europeo su clima (sopra) e qualità dell'aria (sotto), in Milioni di euro.

Fonte: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/about_the_european_commission/eu_budget/financing_horizontal_priorities_in_the_eu_budget_-_db_2023.pdf

Le città italiane devono dunque fare leva sui finanziamenti del PNRR: 15 Miliardi di euro sono dedicati all'efficientamento energetico degli edifici, mentre 34 Miliardi alla mobilità sostenibile. Diverse sono le iniziative che vedono i comuni come beneficiari, anche se non è semplice attribuirle tutte alla transizione climatica (Tabella). Fra le più rilevanti ci sono il rafforzamento della mobilità ciclistica, del trasporto rapido di massa, il rinnovo delle flotte bus, l'efficientamento energetico degli edifici e la riforestazione urbana.

Inoltre, la Legge di Bilancio 2022 ha previsto l'istituzione di un di un apposito Fondo denominato "*Fondo per la strategia di mobilità sostenibile*", con una dotazione complessiva di 2 miliardi di euro di cui 1 miliardo a supporto alle iniziative per la riduzione delle emissioni climalteranti, in particolare dovute alla mobilità urbana, nei comuni e nelle città metropolitane con più di 100.000 abitanti, attraverso l'acquisto e l'infrastrutturazione di veicoli per il TPL a trazione elettrica, l'infrastrutturazione e gli incentivi alla ciclabilità e alla mobilità attiva, interventi di pedonalizzazione e l'uso di strumenti digitali.

¹ Ahmad, E., D. Dowling, D. Chan, S. Colenbrander, and N. Godfrey, 2019: *Scaling up investment for 35 sustainable urban infrastructure: A guide to national and subnational reform*. 1–46 pp. 36 <http://newclimateeconomy.net/content/cities-working-papers>

² IEA, 2016, *Energy Technology Perspectives 2016*, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2016>

³ OECD, 2000, *Integrating Transport in the City*, <https://doi.org/10.1787/9789264180895-en>

⁴ ITF, 2021, *Cleaner Vehicles Achieving a Resilient Technology Transition*, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cleaner-vehicles-technology-transition.pdf>

⁵ Colantone et. Al, 2022, *The Political Consequences of Green Policies: Evidence from Italy*, CESifo Working Paper No. 9599

⁶ Bergquist et al, *Meta-analyses of fifteen determinants of public opinion about climate change taxes and laws*, *Nature Climate Change*, 2022

⁷ Mildenerger et. Al, *Limited impacts of carbon tax rebate programmes on public support for carbon pricing*, *Nature Climate Change*, 2022

⁸ Sarmiento et. Al, 2022, *Effectiveness, Spillovers, and Well-Being Effects of Driving Restriction Policies*, RFF working paper https://media.rff.org/documents/EIEE_WP_21-13.pdf

⁹ Nico Pestel, Florian Wozny, "Health effects of Low Emission Zones: Evidence from German hospitals" *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 109, 2021

¹⁰ Fang. Et a., *Clean air for some: Unintended spillover effects of regional air pollution policies*, *Science Advances*, 2019

¹¹ ITF, 2020, *Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility*, <https://www.itf-oecd.org/good-go-assessing-environmental-performance-new-mobility>

¹² IEA, 2019, *The Future of Rail*, 2019, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>

¹³ Dina Azhgaliyeva and Dil B. Rahut, 2022, *PROMOTING GREEN BUILDINGS: BARRIERS, SOLUTIONS, AND POLICIES*, ADB working paper

¹⁴ OECD, 2022, *Decarbonising Buildings in Cities and Regions*, <https://doi.org/10.1787/a48ce566-en>

¹⁵ IEA, 2022, *Technology and innovation pathways for zero-carbon-ready buildings by 2030*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/technology-and-innovation-pathways-for-zero-carbon-ready-buildings-by-2030>

¹⁶ Bertoldi et. Al, 2020, *How to finance energy renovation of residential buildings: Review of current and emerging financing instruments in the EU*, WIRES

¹⁷ IEA, 2021, *Empowering Cities for a Net Zero Future*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/empowering-cities-for-a-net-zero-future>

¹⁸ Viesti et. Al, *Le città italiane e il PNRR*, 2022, <https://www.urbanit.it/wp-content/uploads/2022/06/20220701-citta-e-pnrr-viesti-chiapperini-montenegro-1-1.pdf>

¹⁹ European committee of the regions, 2017, *Financing climate action: opportunities and challenges for local and regional authorities*

CAPITOLO 11

Strumenti di misurazione e monitoraggio degli outcome

Prof. Sergio Malcevschi

CATAP (Coordinamento Associazioni Tecnico-scientifiche per l'Ambiente ed il Paesaggio)

Prof. Massimo Tavoni

Dipartimento di Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano e Struttura Tecnica di Missione, MIMS

Prof.ssa Mara Tanelli

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano

A sostegno dell'obiettivo di un impatto climatico zero, sarà necessario che le città dispongano dei dati di controllo per gli andamenti dei principali indicatori e parametri del caso. In termini complessivi si tratterà di dati relativi agli andamenti di:

- indicatori di risultato, rispetto ai programmi specifici avviati dalle città ai fini della neutralità climatica;
- indicatori meteo-climatici (temperature, precipitazioni, ecc.) forniti dalle stazioni ufficiali deputate alla raccolta ed elaborazione dei dati relativi e da altre fonti quali satelliti e rianalisi di dati, come ad esempio operato da *Copernicus*;
- indicatori di decarbonizzazione (emissioni di gas climalteranti e assorbimento del carbonio sul territorio ai fini di una neutralità carbonica);
- indicatori ambientali di inquinamento legato alla strategia di decarbonizzazione, come l'inquinamento dell'aria e dell'acqua;
- indicatori sociali ed economici per valutare i co-benefici ed eventuali *trade off* delle politiche di neutralità climatica sulla società, la disuguaglianza e il progresso sociale.

Gli indicatori di cui sopra dovranno a loro volta essere messi a sistema con altri in grado di riflettere le capacità complessive di adattamento e resilienza delle città, sul piano ambientale e sociale. Indicatori di questo tipo potranno essere resi disponibili da:

- programmi di monitoraggio già avviati da vari strumenti di governo finalizzati all'obiettivo di decarbonizzazione, alla resilienza e più in generale allo sviluppo sostenibile (PUMS, PAESC, PNRR, VAS, ecc.);
- nuovi programmi di coordinamento dei dati a vario titolo raccolti, ai fini di un migliore coordinamento delle diverse politiche che concorrono alla neutralità climatica e resilienza; un'occasione rilevante a tal fine potrà essere quella offerta dalla necessità di rispettare il principio DNSH per le azioni oggetto di finanziamento europeo.

Monitoraggio delle città per la parte emissiva (dall'*Implementation Plan della Mission Cities*)¹

Il monitoraggio dinamico e in tempo reale dei progressi verso la neutralità climatica sarà essenziale per mantenere un senso di urgenza, realizzazione e motivazione tra le città e le parti interessate coinvolte. Allo stesso tempo, il monitoraggio in tempo reale consente adeguamenti informati e flessibili alla Missione, se e quando necessario.

A tal fine la Missione *Climate Neutral and Smart Cities* ha previsto di istituire un proprio sistema di monitoraggio semplice ma robusto, utilizzando metodologie consolidate basate su indicatori a breve (progressi nell'attuazione), a medio (consegna di risultati tangibili) e a lungo termine (impatto):

- gli indicatori di attuazione misureranno il livello di interesse delle città per la neutralità climatica, la loro preparazione e diversità;
- gli indicatori di risultato misureranno il livello di impegno della città per la neutralità climatica, la loro diversità e la mobilitazione di finanziamenti UE/regionali/nazionali;
- gli indicatori di impatto misureranno i progressi effettivi verso la neutralità climatica delle città della Mission, nonché il loro contributo complessivo verso l'obiettivo del 55% del Green Deal europeo e, in definitiva, il numero di città a impatto climatico zero.

La Mission fornirà un quadro comune per comprendere cosa significa neutralità climatica per le città. Il programma incoraggia vivamente le città a utilizzare (e continuare a utilizzare) i quadri di pianificazione e monitoraggio esistenti. Per quanto riguarda i trasporti, si tratta in particolare dei *Piani di Mobilità Urbana Sostenibile* (PUMS) e dei relativi indicatori elaborati dalla Commissione europea. Per quanto riguarda l'energia, ciò include in particolare la metodologia sviluppata dal *Patto dei sindaci* e dai *Piani d'azione per l'energia sostenibile e il clima* (PAESC). Un collegamento più stretto tra PAESC e PUMS potrebbe offrire ulteriori vantaggi alle città. In questa direzione, la guida tematica PUMS sull'armonizzazione dell'energia e sulla pianificazione della mobilità urbana sostenibile fornisce già una guida progressiva all'armonizzazione dei PAESC con i PUMS.

Ciò sosterrà le città nella misurazione e valutazione degli interventi nel trasporto urbano, mentre la *Mission Platform* fornirà alle città ulteriore *know-how* per sviluppare una linea di base e uno strumento di monitoraggio coerente e KPI concordati per misurare e comunicare i progressi verso il raggiungimento degli obiettivi dei CCC (*Climate City Contracts*).

La riduzione del livello di emissioni di GHG in Europa fornito dalle città che partecipano alla Missione sarà misurato in linea con i tre indicatori principali individuati nel Patto globale dei sindaci.

Ai fini della Missione *Cities*, i calcoli sulla neutralità climatica dovrebbero concentrarsi su:

Emissioni di GHG di Scopo 1: obbligatorio dall'inizio della Missione per la città all'interno del confine geografico. Questo indicatore sarà calcolato sulla base delle

emissioni degli edifici, dell'industria, dei trasporti, del trattamento dei rifiuti (rifiuti solidi e acque reflue), dell'agricoltura e della silvicoltura e di altre attività.

Emissioni di GHG di Scopo 2: obbligatorio per la città dall'inizio della Missione. Questo indicatore sarà calcolato sulla base delle emissioni indirette dovute al consumo di energia elettrica fornita dalla rete all'interno del confine geografico e delle emissioni indirette dovute al consumo di riscaldamento e/o raffrescamento fornito dalla rete all'interno del confine geografico.

Emissioni di GHG di Scopo 3: da considerare ulteriormente per la città ma da non adottare prima del 2030. Potrebbero essere calcolate sulla base delle seguenti emissioni:

- emissioni fuori confine da parte del trattamento dei rifiuti prodotti all'interno del confine geografico;
- emissioni fuori confine da parte della trasmissione e distribuzione dell'energia consumata all'interno del confine geografico;
- emissioni fuori confine da parte del trasporto di cittadini residenti all'interno del confine geografico;
- emissioni fuori confine da parte di consumi effettuati all'interno del confine geografico (cibo, vestiti, mobili, materiali, ecc.);
- altre emissioni indirette.

Queste emissioni sono innegabilmente importanti nel cambiamento climatico ma poiché riguardano le azioni individuali dei consumatori, che sono ben al di fuori dell'ambito della Missione delle città o addirittura delle autorità cittadine, non dovrebbero essere incluse nei calcoli di base. È previsto il lancio di uno o più progetti di ricerca e innovazione per considerare ulteriormente la questione e c'è già interesse da parte delle città ad aderire a tali progetti.

Le città dovrebbero quindi monitorare le emissioni di Scopo 1 e Scopo 2 nel periodo fino al 2030. Per le città che sono entrate nella Missione e hanno concluso il loro CCC, gli indicatori e il sistema di monitoraggio saranno concordati come parte integrante del contratto.

Quando si tratta di inquinamento, gli indicatori rilevanti sulla qualità dell'aria potrebbero essere i livelli di inquinamento atmosferico all'interno dei confini delle città come riportato dalla legislazione dell'UE (o monitorato utilizzando un regime di valutazione corrispondente, vale a dire:

- livelli di concentrazione di PM_{2,5} (media annuale più alta osservata nelle stazioni sub-urbane di fondo);
- livelli di concentrazione di NO₂ (media annuale più alta osservata nelle stazioni di traffico).

Indicatori a supporto dell'applicazione del principio DNSH ai fini della neutralità climatica delle città

Il [Regolamento europeo 2020/852](#)² relativo ad un quadro che favorisca gli investimenti sostenibili prevede il rispetto di sei obiettivi ambientali generali (con ruolo di politiche) secondo il principio DNSH (*Do No Significant Harm*, non produrre

danni significativi) che sta assurgendo a criterio sempre più trasversale negli atti europei finalizzati allo sviluppo sostenibile. Confrontandoli con le modalità/strategie necessarie al perseguimento degli obiettivi di neutralità climatica, della *Mission* si vede come le sovrapposizioni e le sinergie potenziali siano rilevanti:

Obiettivi/Politiche ambientali	Modalità/Strategie ai fini degli obiettivi di neutralità climatica
a) la mitigazione dei cambiamenti climatici	La riduzione delle emissioni climalteranti delle città selezionate, contributo alle concentrazioni di GHG nell'atmosfera terrestre, costituisce una base necessaria
b) l'adattamento ai cambiamenti climatici	L'obiettivo della resilienza e dell'adattamento ai cambiamenti climatici per le città deve essere associato al precedente se si vogliono ridurre gli impatti climatici negativi anche a livello locale attraverso l'adeguamento dell'ecosistema urbano e periurbano; le "soluzioni di adattamento" previste dal Regolamento offrono enormi opportunità al riguardo
c) l'uso sostenibile e la protezione delle acque e delle risorse marine	Il tema delle acque e del suo adeguato governo sul territorio compresa la regolazione di flussi e cicli costituisce uno degli oggetti principali del tema della resilienza delle città agli impatti climatici critici
d) la transizione verso un'economia circolare	La facilitazione della circolarità è una delle strategie fondamentale per l'ottimizzazione dei flussi e cicli biogeochimici anche a livello locale
e) la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento	La riduzione dell'inquinamento locale dell'aria è un obiettivo strettamente collegabile alla riduzione delle emissioni climalteranti, e fornisce vantaggi immediatamente fruibili dai cittadini in termini di salute
f) la protezione e il ripristino della biodiversità e degli ecosistemi	Il tema della biodiversità e degli ecosistemi è alla base delle Nature-Based Solutions, che integrate in infrastrutture verdi/blu di diverse scale si traducono in modalità realizzative a cui dare la massima priorità possibile

In termini generali, indicatori per le verifiche del rispetto del principio DNSH potranno essere associati ai contenuti analitici indicati dal Regolamento europeo 2020/852:

Oggetti delle valutazioni DNSH secondo l'art.17 del Regolamento 2020/852

Obiettivi/Politiche	Elementi di verifica specifica
1. Mitigazione dei cambiamenti climatici	<ul style="list-style-type: none"> Emissioni di gas a effetto serra
2. Adattamento ai cambiamenti climatici	<ul style="list-style-type: none"> Effetti negativi del clima attuale e del clima futuro previsto Sulle attività Sulle persone Sulla natura Sugli attivi
3. Uso sostenibile delle acque e delle risorse marine	<ul style="list-style-type: none"> Buono stato o al buon potenziale ecologico di corpi idrici Acque superficiali Acque sotterranee Buono stato ecologico delle acque marine
4. Economia circolare	<ul style="list-style-type: none"> Uso dei materiali Uso diretto o indiretto di risorse naturali quali Le fonti energetiche non rinnovabili Le materie prime Le risorse idriche Il suolo Rifiuti, compresi la prevenzione e il riciclaggio Produzione Incenerimento Smaltimento Smaltimento a lungo termine
5. Prevenzione e riduzione dell'inquinamento	<ul style="list-style-type: none"> Emissioni di sostanze inquinanti Nell'aria Nell'acqua Nel suolo
6. Protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi	<ul style="list-style-type: none"> Buona condizione e resilienza degli ecosistemi Stato di conservazione Degli habitat Delle specie

Tabella 4: Indicatori per il rispetto del principio DNSH ³

Gli indicatori per il rispetto del principio DNSH sono utili anche per i miglioramenti che potranno essere concretamente avvertiti da parte dei cittadini rispetto agli impatti climatici critici che si produrranno a livello locale, richiedendo in pratica la sinergia tra gli obiettivi di mitigazione e quelli di resilienza e adattamento.

Per quanto riguarda più specificamente gli obiettivi di impatto climatico zero delle città, le politiche più direttamente coinvolte da ricordare sono le prime due: mitigazione dei cambiamenti climatici e adattamento. Un ambito rilevante di raccordo potrà essere quello di una decarbonizzazione che punti il prima possibile ad un bilancio netto tra emissioni (minimizzate per quanto possibile) ed assorbimenti di carbonio (sfruttando anche le opportunità offerte dalle infrastrutture verdi-blu – in senso esteso – e dall’uso generalizzato di soluzioni NBS e dall’agricoltura urbana e periurbana), mantenendo come soglia temporale massima il 2050. Il 2030 potrà invece essere assunto come orizzonte massimo entro il quale dimostrare la fattibilità del raggiungimento del bilancio netto e l’avvio delle soluzioni a tal fine dedicate.

Uno schema analitico utilizzabile a tal fine potrà essere il seguente:

Carbonio da attività umane ai fini della neutralità carbonica delle città (CO₂ eq)

- Emissioni di carbonio da fonti fossili di energia
- Riduzioni vs. situazione attuale di emissioni da fonti fossili:
 - da risparmi di consumi energetici;
 - da maggiore efficienza energetica:
 - energia da sostituzione con fonti rinnovabili:
 - non basate sul carbonio
 - carbonio legato a smaltimento sostenibile di rifiuti in loco
 - da biomasse rinnovabili
- Assorbimento permanente di carbonio da infrastrutture verdi ed agricoltura urbane e periurbane:
 - aumento delle biomasse stabili sul territorio
 - produzione di nuovo suolo
 - sequestro in unità ambientali *sink*

Indicatori socioeconomici a supporto degli obiettivi di impatto climatico zero

La strategia di *carbon neutrality* non va misurata solo per quanto riguarda il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione ma anche per le conseguenze che le politiche hanno su economia e società in senso ampio. La necessità di stimare gli impatti socio-economici è fondamentale per la valutazione e il design di *policies* per la transizione e il suo eventuale aggiustamento, ma anche per valutare i benefici che la politica climatica ha sulla città.

La letteratura scientifica ha evidenziato come le strategie climatiche urbane abbiano una serie di co-benefici (e un numero ridotto ma non trascurabile di *trade-off*) con molti degli obiettivi di sviluppo sostenibile, come riassunto nella seguente figura tratta dal nuovo rapporto dell’IPCC che dedica un capitolo intero agli *urban settlements*⁴.

L’IPCC sottolinea come le città siano proprio i luoghi dove i co-benefici dell’azione climatica possano essere maggiori, grazie alla concentrazione di persone e inquinamento. Le principali categorie di indicatori socio-economici rilevanti per le città sono le seguenti:

- **salute:** la salute umana è sicuramente l'indicatore fondamentale per valutare gli impatti delle politiche climatiche nelle città. Diversi sono i fattori che influenzano la salute. Per quanto riguarda la qualità dell'aria, gli indicatori di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici (NO_x, NH₃, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, etc.), sia *indoor* che *outdoor*, forniscono un quadro importante dell'esposizione dei cittadini. Questi dati sono a oggi reperibili tramite centraline, che però in molte città italiane forniscono un quadro parziale e non in tempo reale. Sistemi di monitoraggio come misuratori a basso costo possono fornire un aiuto, come le simulazioni e le osservazioni satellitari. La maggior parte delle misurazioni avviene all'aria aperta, ma l'evidenza scientifica mostra come l'inquinamento *indoor* sia altrettanto importante e al momento poco misurato. Oltre all'inquinamento atmosferico, fattore dominante in Italia, gli impatti sulla salute legate alla transizione climatica riguardano la riduzione dell'inquinamento acustico della mobilità dolce ed elettrica e la riduzione delle isole di calore tramite *nature-based solutions*. Entrambi i fattori rappresentano rischi significativi per la salute e richiedono misurazioni specifiche. I dati di esposizione all'inquinamento andrebbero integrati con *record* ospedalieri e medici, delle scuole e degli uffici, in modo da identificare l'effettivo miglioramento della salute in termini di malattie cardio-vascolari e respiratorie e di assenza da scuola e dall'ufficio. Questi numeri possono anche essere tradotti in benefici economici usando ulteriori indicatori;
- **occupazione e produttività:** la transizione ecologica è prevista avere degli impatti significativi sul mercato del lavoro. Nel rapporto "*Verso una crescita a zero emissioni: Gli impatti macroeconomici e occupazionali per l'Italia del Pacchetto "Fit for 55"*" redatto da tre autori STEMI⁵, si stima che le politiche climatiche possano generare già al 2030 oltre 200 mila posti di lavoro aggiuntivi in Italia. Ciò che è rilevante per le città è che il maggior numero di posti di lavoro è previsto nel settore dei servizi e della pubblica amministrazione, che sono fortemente concentrati nelle città. I nuovi posti di lavoro sono inoltre legati alla ristrutturazione industriale verso settori verdi e digitali che richiedono alte competenze. La misurazione occupazionale delle città per settore diventa dunque fondamentale, come anche la quantificazione della produttività economica, che al momento è misurata solo parzialmente e non in modo sistematico e che richiede una misurazione del valore aggiunto a livello di città;
- **disuguaglianze e povertà:** per avere successo, la politica climatica anche a livello di città deve essere inclusiva e ridurre le disuguaglianze economiche e sociali. Per misurare le disuguaglianze e povertà i *record* delle Agenzie delle Entrate⁶ forniscono indicazioni utili, da quando sono stati pubblicati i dati sui redditi delle città per aree territoriali corrispondenti ai codici di avviamento postale (Cap) in cui ognuna è suddivisa. Oltre ai dati amministrativi, possono essere aggiunti sondaggi *ad hoc*, possibilmente in forma *panel* che intervistino le stesse famiglie su periodi temporali sufficientemente lunghi. Anche i dati satellitari analizzati con metodi di *machine learning* possono fornire indicazioni utili per misurare la distribuzione spaziale di reddito, occupazione, salute e altri variabili, come sperimentato nella città di Londra⁷;
- **resilienza:** le strategie climatiche delle città devono anche assicurare resilienza economica e sociale ai rischi climatici che sono previsti aumentare nei prossimi anni. Come suggerito dal rapporto speciale dell'IPCC sui rischi climatici⁸, il *framework* della resilienza si deve basare sia sulla vulnerabilità

che sull'esposizione ai rischi. Pertanto, gli indicatori di misurazione della performance di adattamento devono comprendere dati economici di impatto – come premi assicurativi, fondi spesi per emergenze, investimenti infrastrutturali per l'adattamento – sia rappresentare il contesto socio-economico su cui insistono i rischi, ad esempio con indicatori di capacità di adattamento in base alla capacità economica, al livello di educazione, ecc.

Il ruolo dei dati nel progetto delle politiche e nel monitoraggio degli outcome: il caso della mobilità urbana

La valutazione e il monitoraggio attivo, ad esempio delle politiche di mobilità, dovrebbero fornire informazioni sull'impatto delle stesse politiche in termini di indicatori di accessibilità, ambientali e sociali. Idealmente, questi momenti di *assessment* dovrebbero evidenziare le possibilità di stimolare lo *shift* modale, di ridurre l'uso dell'auto privata, di coltivare la coscienza ambientale dei cittadini e di migliorare l'efficienza dei sistemi di trasporto urbano. I dati sono un ingrediente essenziale in queste valutazioni.

Allo stesso tempo, le tendenze a lungo termine della domanda di viaggio sono influenzate dall'interazione di vari fattori, quali, ad esempio: crescita socio-economica (ovvero l'evoluzione integrata di popolazione e PIL), urbanizzazione, dinamiche di migrazione, infrastrutture, tecnologia, politiche, atteggiamenti e comportamenti individuali. Molti di questi fattori stanno cambiando rapidamente e la loro evoluzione può sempre più essere catturata e studiata disponendo di adeguate fonti dati eterogenee ed integrate⁸.

Fare oggi proiezioni attendibili di quanto e come viaggeranno le persone nei prossimi decenni e fino alla fine del secolo è estremamente impegnativo. È molto probabile, infatti, che il futuro dei trasporti sarà assai diverso dagli ultimi quattro decenni e che la traiettoria del cambiamento sarà dovuta al modo in cui i cambiamenti comportamentali individuali si combineranno con la rapida trasformazione tecnologica in digitalizzazione, elettrificazione, nuovi servizi di mobilità e automazione. Per generare proiezioni realistiche della futura domanda di trasporto, pertanto, atta a fornire solide informazioni ai responsabili politici, è fondamentale avere una profonda comprensione del processo decisionale degli individui nelle scelte di mobilità e di essere in grado di proiettarle sullo sviluppo degli scenari tecnologici⁹.

Al fine di migliorare le valutazioni degli impatti delle politiche di mobilità comprendendo il ruolo che i dati possono avere, è interessante analizzare questo tema in modo specifico per le diverse fasi del ciclo di elaborazione delle politiche proposto in Hewlett et al. (2009)¹⁰ e mostrato in Figura 18.

In primo luogo, nella fase di definizione dell'agenda, la raccolta dei dati storici e la loro elaborazione può essere utilizzata per definire e inquadrare problemi da risolvere. Questo passaggio richiede ai responsabili politici di selezionare indicatori di base facili da ricalcolare periodicamente sulla medesima base dati, che deve essere quindi sempre disponibile e accessibile.

Nella seconda fase, quella della formulazione delle politiche, le opzioni politiche dovrebbero essere sviluppate e preliminarmente classificate e priorizzate. Dati tradizionali provenienti da sondaggi, i dati GIS e *big-data* atti a raccogliere informazioni sugli spostamenti (es. i dati telefonici) sono tutte fonti di dati utili per la formulazione delle opzioni politiche; in particolare, l'uso combinato di tali dati ha

mostrato un grande potenziale per aiutare a comprendere i comportamenti dei viaggiatori e le corrispondenti motivazioni alla base delle scelte di mobilità. Lo sviluppo di metodi di inferenza basati su algoritmi di *machine-learning* e intelligenza artificiale ottenuti combinando queste fonti dati è sicuramente cruciale per aiutare i decisori politici a progettare una politica dei trasporti più inclusiva e sostenibile. Oltre a ciò, la valutazione *ex ante* può essere molto utile sia in questa fase che nella successiva, ovvero quella dell'effettivo processo decisionale.

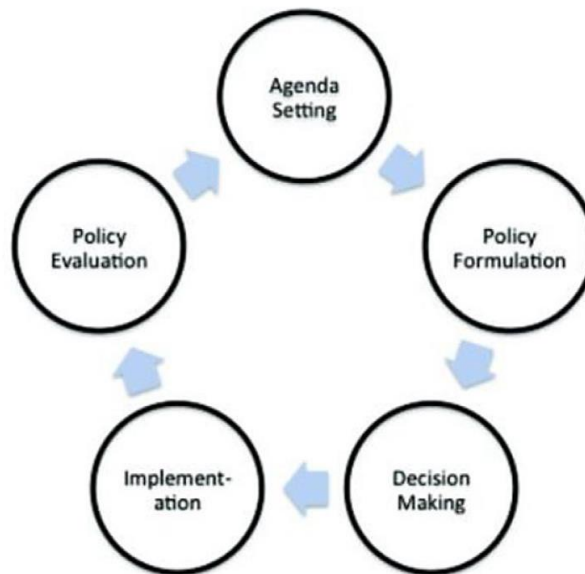


Figure 4. Policymaking cycle (Howlett et al., 2009).

Figura 18: Schema concettuale del ciclo di elaborazione delle politiche¹⁰

Nella terza fase deve essere decisa la misura politica finale da attuare: i dati GIS e le informazioni sul traffico, opportunamente elaborati, rappresentano un modo efficace per valutare e confrontare diverse opzioni. Ciò offre agli organi di governo la possibilità di valutare e comparare i risultati di previsioni definite sulla base di scenari diversi. L'analisi dei dati in questa fase richiede figure professionali con competenze di modellistica e di analisi dei dati, che devono essere rese disponibili in modo continuativo nei *team* di supporto alle amministrazioni politiche locali, anche lavorando in collaborazione con le Università e i centri di ricerca.

La successiva fase di monitoraggio, infine, non dovrebbe essere sequenziale rispetto a quella di implementazione, bensì dovrebbe essere unita a essa in modo iterativo. In questo senso i *big-data* possono fornire informazioni tempestive rispetto all'efficacia delle politiche implementate, consentendo anche ai responsabili politici di apportare modifiche in corso d'opera in risposta ai problemi evidenziati dal monitoraggio della fase di attuazione delle politiche stesse. La valutazione *ex post*, inoltre, può anche utilizzare dati statistici e dati di sondaggi al fine di confrontare i risultati della politica attuale con quelli delle politiche precedenti e analizzare il *feedback* da viaggiatori coinvolti in *trial* preliminari dei servizi proposti; questa fase è molto importante per anticipare potenziali problemi e attuare immediatamente i correttivi necessari prima di un avvio massivo dell'attuazione della specifica politica considerata. Tuttavia, anche questo passo richiede la disponibilità di competenze e di una capacità di lavoro sufficiente da parte dei dipartimenti coinvolti nella mobilità

urbana per condurre il monitoraggio e le valutazioni da esso derivanti nei tempi e modi adeguati al disegno ed all'attuazione delle politiche correttive.

Quali indicazioni riassuntive per un uso appropriato delle fonti dati per l'*assessment* di politiche della mobilità urbana, si segnalano i seguenti aspetti:

- le fonti di *big-data* sono quelle che mostrano il maggior potenziale per l'impiego nello sviluppo di strumenti di supporto al processo decisionale e di monitoraggio delle politiche di mobilità, in particolare combinati con dati di sondaggi, opportunamente integrati ai primi con metodi di analisi quantitativa;
- i *big-data* (la maggior parte sono dati basati sulla posizione) utilizzati nei modelli di traffico possono fornire più facilmente informazioni dettagliate su modelli di viaggio, mentre sono meno espressivi nel cogliere gli aspetti comportamentali (i sondaggi tradizionali rimangono più utili per questo);
- l'uso di queste fonti di dati nel processo decisionale sulla mobilità urbana richiede competenze specifiche, che in parte devono essere condivise anche dai responsabili politici e dallo staff di supporto, e la creazione di appositi centri di studio sia a livello locale sia nazionale

¹ European Commission, 2021 - European Missions. 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030. Implementation Plan.

https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/funding/documents/cities_mission_implementation_plan.pdf

² Unione Europea, 2020 - REGOLAMENTO (UE) 2020/852 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL DEL CONSIGLIO del 18 giugno 2020 relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=IT>

³ AAA (Associazione Analisti Ambientali), CATAP (Coordinamento Associazioni Tecnico-scientifiche per l'Ambiente ed il Paesaggio), 2022 - La valutazione del principio DNSH. Riferimenti, aspetti tecnici e punti di attenzione. 71 p. http://www.catap.eu/wp-content/uploads/2022/04/Valutazione-DNSH_Vers.3.1-feb22.pdf

⁴ IPCC AR6 WGIII (2022) <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>

⁵ Bosello F., Carraro C., Tavoni M. Verso una crescita a zero emissioni: Gli impatti macroeconomici e occupazionali per l'Italia del Pacchetto "Fit for 55. STEMI-MIMS in corso di pubblicazione su il Mulino.

⁶ Banca dati della Agenzia delle Entrate, [https://www1.finanze.gov.it/finanze/analisi_stat/public/index.php?search_class\[0\]=cCOMUNE&opendata=yes](https://www1.finanze.gov.it/finanze/analisi_stat/public/index.php?search_class[0]=cCOMUNE&opendata=yes)

⁷ Suel, E., Polak, J.W., Bennett, J.E. et al. Measuring social, environmental and health inequalities using deep learning and street imagery. *Sci Rep* 9, 6229 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42036-w>

⁸ Liu, X., & Dijk, M. (2022). The role of data in sustainability assessment of urban mobility policies. *Data & Policy*, 4, E2. doi:10.1017/dap.2021.32

⁹ Yeh, S. et al. (2022) Improving future travel demand projections: a pathway with an open science interdisciplinary approach. *Progress in Energy*, n. 4; <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac86b5>

¹⁰ Howlett M, Ramesh Mand Perl A (2009) *Studying Public Policy: Policy Cycles and Policy Subsystems*, Vol. 3. Oxford: Oxford University Press

