

**Tabella di catalogazione dei riferimenti bibliografici analizzati al capitolo 4 della tesi**

Riferimenti bibliografici sul tema degli effetti del cambiamento climatico sulle prestazioni energetiche degli edifici, con applicazione a casi studio reali, catalogati secondo uno schema definito dall'autore della presente tesi.

La selezione non si intende chiaramente esaustiva, ma utile a introdurre i metodi più diffusi e i risultati salienti delle ricerche.

Effetti del cambiamento climatico sulle prestazioni energetiche degli edifici																	
Rif.	Anno	Argomento	Localizzazione	Zona climatica (Köppen)	Zona climatica (ASHRAE)	Destinazione d'uso	Categoria intervento	Generazione dati climatici futuri	Orizzonte temporale	Scenari emissioni	Parametri climatici	Metodo analisi energetica	Strumenti impiegati	Soluzioni involucro	Soluzioni impianti	Risultati	Conclusioni
1	2010	Impatto del CC sui fabbisogni energetici dell'edificio	Darwin (AU)	Tropicale Aw	1B	Residenziale, monofamiliare	Edificio tipo esistente; nuova costruzione	Morphing da 9 GCM; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TMY 1990; 2050; 2100	A1B, A1FI, 550ppm stabilisation (SRES)	Temperatura media annua; umidità relativa; radiazione solare	Simulazione dinamica	MAGICC; OZClim; AccuRate	Diverse soluzioni per 3 livelli di rating definiti da NatHERS: 1) 2 stars (esistenti); 2) 5 stars (nuove costruzioni standard); 3) 7 stars (nuove costruzioni alta efficienza)	Solo sistema di ventilazione meccanica; impianti non specificati (soli fabbisogni)	$Q_{H,nd} = \pm 0\%$ ; $Q_{C,nd} = +40/135\%$ ; $Q_{H+C,nd} = +40/135\%$	Climi caldi: aumento $Q_C$ prevale su diminuzione $Q_H$ e provoca aumento $Q_{H+C}$ ; in val. assoluto aumento $Q_{H+C}$ maggiore in zone 1B e 2B e in soluzioni "2 stars"; in % aumento maggiore in zona 3A e in soluzioni "7 stars". Climi freddi: diminuzione $Q_H$ prevale su aumento di $Q_C$ e provoca diminuzione $Q_{H+C}$ ; in val. assoluto diminuzione $Q_{H+C}$ maggiore in zona 4A e in soluzioni "2 stars"; in % diminuzione maggiore in soluzioni "7 stars"; in zona 3C minore diminuzione $Q_{H+C}$ , ma tendenza inversa e crescente al 2100 a causa di $Q_C$ .
			Alice Springs (AU)	Arida BSh	2B											$Q_{H,nd} = -50/94\%$ ; $Q_{C,nd} = +62/283\%$ $Q_{H+C,nd} = +41/213\%$	
			Sydney (AU)	Temperata Cfa	3A											$Q_{H,nd} = -66/99\%$ ; $Q_{C,nd} = +93/462\%$ $Q_{H+C,nd} = +61/350\%$	
			Melbourne (AU)	Temperata Cfb	3C											$Q_{H,nd} = -30/78\%$ ; $Q_{C,nd} = +69/380\%$ $Q_{H+C,nd} = -14/22\%$	
			Hobart (AU)	Temperata Cfb	4A											$Q_{H,nd} = -20/58\%$ ; $Q_{C,nd} = +79/572\%$ $Q_{H+C,nd} = -19/48\%$	
2	2012	Impatto del CC su prestazioni energetiche NZEBs	Montréal (CA)	Boreale Dfb	6A	Residenziale, plurifamiliare	NZEBs con caratteristiche prefissate	Morphing da HadCM3; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici; previsione continua con evoluzione anno per anno	CWEC; TMY2; TMY3; 2011-40; 2041-70; 2011>2060	A2 (SRES)	Temperatura media annua; giorni più caldi estate; giorni più freddi inverno; umidità relativa; radiazione solare	Simulazione dinamica	Matlab; TRNSYS	$R_{Wall} = 8$ ; $R_{Roof} = 12$ ; W = tripli vetri b-e + kripton	Pompa di calore geotermica acqua-aria invertibile; distribuzione canali ad aria + recuperatori di calore + free cooling; ventilazione meccanica; PV con $\eta = 18\%$	$E_{el,tot} = +6/9\%$ ; $E_{el,PV} = +2,6/1,5\%$ $E_{el,exc} = -127/276\%$ (+375 > -660 kWh) $E_{el,H} = -28/40\%$ ; $E_{el,C} = +154/219\%$	Aumento $E_{el,C}$ prevale su diminuzione $E_{el,H}$ e free-cooling, con aumento $E_{el,tot}$ ; leggero aumento produzione da PV, ma insufficiente e in calo al 2050 per minore radiazione solare (da previsioni); aumento $E_{el,rete}$ implica mancato target NZEB.
			Massena, NY (US)														
3	2013	Impatto del CC sui fabbisogni energetici dell'edificio	Stoccolma (SE)	Boreale Dfb	6A	Stock edifici residenziali	Edificio esistente	RCA3: downscaling dinamico da 5 GCM; previsione "ibrida": <i>horizon years</i> ad intervalli di 20 anni	1961-80 > 2081-100 (intervalli di 20 anni)	B1, A1B, A2 (SRES)	Temperatura media annua	Modello RC basato su equivalenza termo-elettrica	Simulink (Matlab)	$U_{media} = da 0,3 a 1,2$ ; valore più frequente $U = 0,5$	Impianti non specificati (soli fabbisogni); 3 modalità raffrescamento: 1) naturale; 2) ibrido; 3) solo meccanico ( $P_{C,max} = P_{H,max}$ )	$Q_{H,nd} = -20/25\%$ (130/160 > 95/125) 2) $Q_{C,nd} = +50/90\%$ (0,2/1,2 > 0,3/2,3) 3) $Q_{C,nd} = +75/62\%$ (0,8/3,2 > 1,4/5,5)	Diminuzione $Q_{H,nd}$ prevale molto su aumento $Q_{C,nd}$ , con minor $Q_{H+C,nd}$ ; raffrescamento 1) sempre efficace solo per alcuni modelli climatici, altri prediligono la modalità 2); raffrescamento 3) sconsigliato per maggior aumento consumi.
4	2015	Impatto del CC sui fabbisogni energetici dell'edificio	Vantaa (FI)	Boreale Dfb	6A	Residenziale, monofamiliare	Edificio esistente	Morphing da CMIP3; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TRY2012 1980-2009; 2030; 2050; 2100	B1, A1B, A2 (SRES)	HDD; CDD; temperatura media annua; temperatura media mensile; radiazione solare	Simulazione dinamica; metodo gradi giorno	IDA-ICE	Standard National Building Code of Finland: $U_{wall} = 0,21$ ; $U_{roof} = 0,14$ ; $U_{floor} = 0,27$ ; $U_w = 1$	A) Riscaldamento elettrico diretto e raffrescamento meccanico; ventilazione meccanica e recuperatori di calore B) Teleriscaldamento e raffrescamento meccanico; ventilazione meccanica e recuperatori di calore C) Pompa di calore geotermica e free cooling geotermico; ventilazione meccanica e recuperatori di calore	$Q_{H+V,nd} = -11 / -17 / -35\%$ (69,5 > 61,9 / 57,7 / 45,2 kWh/m <sup>2</sup> ) $Q_{C,nd} = +21 / +30 / +70\%$ (11,8 > 14,3 / 15,3 / 20,1 kWh/m <sup>2</sup> ) A) $E_{del,H+V+C} = -9 / -15 / -30\%$ (76,5 > 69,6 / 65 / 53,6 kWh/m <sup>2</sup> ) B) $E_{del,H+V+C} = -10 / -16 / -31\%$ (93,5 > 84,2 / 78,5 / 64,5 kWh/m <sup>2</sup> ) C) $E_{del,H+V+C} = -10 / -17 / -35\%$ (27,5 > 24,8 / 22,8 / 17,9 kWh/m <sup>2</sup> )	Diminuzione $Q_{H+V,nd}$ prevale molto su aumento $Q_{C,nd}$ ; in tutti i casi diminuzione $E_{del}$ , con differenti valori a seconda dei rendimenti globali degli impianti: A) $\eta_{g,H+V} = 0,96 / COP = 3$ B) $\eta_{g,H+V} = 0,7 / COP = 3$ C) SEER = 3,1 / COP = 30 Alla luce del crescente $Q_{C,nd}$ , il sistema C) risulta il più efficiente e sostenibile, soprattutto grazie al free cooling, più resiliente al CC in clima freddo.
			Lisbona (PT)	Temperata Csa	3C	Quartiere (diverse destinazioni d'uso)	Edifici esistenti	Morphing da HadCM3; previsione "ibrida": <i>horizon years</i> da intervalli di 10 anni	TMY2 2010; 2020; 2030; 2040; 2050;	RCP 2.6, RCP 6.0, RCP 8.5	Temperatura media mensile; radiazione solare	Modello RC basato su equivalenza termo-elettrica; validazione con simulazione dinamica	CCWorldWeatherGen; ArcGIS; LiDAR; Design Builder (EnergyPlus)	Diverse soluzioni per 3 scenari di rinnovamento, articolati secondo 4 livelli di prestazione: minimo (standard 2010); moderato; profondo; NZEB	Teleriscaldamento (inclusi solo gli edifici del quartiere collegabili a tale rete)	Nessun intervento (2050): $Q_{H,nd} = -6 / -21 / -37\%$ ; Rinnovamento leggero (2050): $Q_{H,nd} = -21 / -35 / -48\%$ ; Rinnovamento profondo (2050): $Q_{H,nd} = -28 / -41 / -52\%$	Riduzione $Q_{H,nd}$ maggiore con scenari di efficientamento più profondi, per riduzione trasmittanze involucri edilizi. Il fabbisogno del quartiere è espresso come densità di richiesta termica (GWh/km <sup>2</sup> ), per valutare la sostenibilità economica della rete di teleriscaldamento: il valore si mantiene sempre sopra la soglia accettabile di 50 GWh/km <sup>2</sup> , ma con lo scenario più profondo aumenta il tempo di ritorno dell'investimento.
6	2016	Impatto del CC sui fabbisogni energetici dell'edificio	Belém (BR)	Tropicale Af	0A	Residenziale, monofamiliare	Edificio tipo esistente	Morphing da HadCM3; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TRY; 2011-40; 2041-70; 2071-100	A2 (SRES)	Temperatura media mensile; umidità relativa; radiazione solare	Simulazione dinamica	CCWorldWeatherGen; EnergyPlus	Diverse soluzioni: riduzione assorbimento sup. opache = 0,5 / 0,3; $U_{wall} = 2,46 / 0,6$ ; $U_{roof} = 1,75 / 0,59$ ; $U_{floor} = 4$ ; $U_w = 5$ (vetro singolo) + schermature avvolgibili	1) Ventilazione naturale 2) Sistema di condizionamento meccanico	1) $h_{comf} = -21/-93\%$ 2) $Q_{H+C,nd} = -11\% / +111\%$ (102 > 91 / 217)	1) continua diminuzione ore comfort a causa di T crescente; 2) aumento $Q_{H+C,nd}$ corrisponde ad aumento $Q_{C,nd}$ ( $Q_{H,nd}$ nullo).
			Florianópolis (BR)	Temperata Cfa	2A											1) $h_{comf} = -14/+15\%$ 2) $Q_{H+C,nd} = +7\% / +186\%$ (29 > 31 / 82)	
			Curitiba (BR)	Temperata Cfb	3A											1) $h_{comf} = +22/+60\%$ 2) $Q_{H+C,nd} = -25\% / +140\%$ (20 > 14 / 48)	
7	2016	Impatto del CC su consumi energetici NZEB	Milano (IT)	Temperata Cfa	4A (zona E - IT)	Terziario, scuola	Edificio esistente	Morphing da HadCM3; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TMY; 2014 reale; 2020; 2050; 2080	A2 (SRES)	HDD; CDD	Simulazione dinamica; metodo gradi giorno	CCWorldWeatherGen; EnergyPlus	Pre-retrofit / post-retrofit: $U_{wall} = 1,2 / 0,1$ ; $U_{roof} = 1,3 / 0,1$ ; $U_{floor} = 1,3 / 0,3$ ; $U_w = 5,8 / 0,73$	Pre-retrofit = Post-retrofit / NZEB: riscaldamento: caldaia a gas + radiatori ad acqua ad alta T e raffrescamento naturale / Pompa di calore aria-aria invertibile + PV con $\eta = 13\%$	1) $\Delta EP_{tot} = da 117 a 93 kWh/m^2$ ; 2) $\Delta LDI = da 18 a 35\%$ ; 2) $EP_H = -40 / -60\%$ ; $EP_C = +233 / +700\%$ ; $EP_{tot} = +13 / +40\%$ ; $E_{el,PV} = da 100/94\% a 80\%$ $E_{del,tot}$	Il retrofit limitato all'involucro (1) produce riduzione $EP_{tot}$ per riduzione riscaldamento, ma tendenza crescente nel lungo termine; l'indice di comfort adattivo migliora, ma nel lungo periodo raffrescamento naturale insufficiente. Cambiando impianti (2), aumento $EP_C$ prevale su riduzione $EP_H$ , e altri consumi elettrici costanti, con aumento $EP_{tot}$ ; nel lungo termine la superficie di PV riesce a coprire solo 80% $E_{del}$ .

Effetti del cambiamento climatico sulle prestazioni energetiche degli edifici																		
Rif.	Anno	Argomento	Localizzazione	Zona climatica (Köppen)	Zona climatica (ASHRAE)	Destinazione d'uso	Categoria intervento	Generazione dati climatici futuri	Orizzonte temporale	Scenari emissioni	Parametri climatici	Metodo analisi energetica	Strumenti impiegati	Soluzioni involucro	Soluzioni impianti	Risultati	Conclusioni	
8	2016	Impatto del CC sui consumi energetici dell'edificio	Naha (JP)	Tropicale Af	2A	Terziario, uffici	Edificio tipo esistente	Anni tipo futuri sviluppati da JMA da modello regionale RCM20; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	RWY 1981-2000; 2031-50; 2081-100	A2 (SRES)	Temperatura media mensile; temperatura media annua	Simulazione dinamica	TAS	Diverse soluzioni: ed. 1990 / mod.1 / mod.2 U <sub>wall</sub> = 0,6 / 0,4 / 0,2; U <sub>roof</sub> = 0,4 / 0,3 / 0,2; U <sub>w</sub> = 5,7 (vetro singolo) / 2 (vetro doppio) / 1,5 (vetro doppio b-e)	UTA + pompe di calore ad aria; Rendimento variabile: ed. 1990 / mod.1 / mod.2 COP = 2,7 / APF = 5,7 / 5,7	Q <sub>H,nd</sub> = ±0%; Q <sub>C,nd</sub> = -41 / -32%; +19 / +36%; Q <sub>H+C,nd</sub> = -41 / -32%; +19 / +36%; E <sub>del,H+C</sub> = -72 / -68%; -44 / -36%	Se misure di efficientamento applicate solo in futuro (primi 2 valori), valori Qnd sempre in diminuzione rispetto ai livelli 1990, ma con tendenze crescenti in zone 2A e 3A. Se applicate subito (ultimi 2 valori), tendenze diverse: - in zona 2A, con QH,nd assente, aumento QC,nd = aumento QH+C,nd; - in zona 3A aumento QC,nd prevale su riduzione QH,nd; - in zona 5A riduzione QH,nd prevale su aumento QC,nd. E <sub>del</sub> in futuro diminuisce grazie a rendimento migliore, ma ancora tendenza crescente in zona 2A e 3A.	
			Tokyo (JP)	Temperata Cfa	3A											Q <sub>H,nd</sub> = -72 / -75%; -78 / -81%; Q <sub>C,nd</sub> = -53 / -43%; +26 / +52%; Q <sub>H+C,nd</sub> = -54 / -45%; +9 / +31%; E <sub>del,H+C</sub> = -78 / -74%; -50 / -42%		
			Sapporo (JP)	Boreale Dfa	5A											Q <sub>H,nd</sub> = -13 / -29%; -18 / -33%; Q <sub>C,nd</sub> = -68 / -59%; +61 / +104%; Q <sub>H+C,nd</sub> = -39 / -43%; -7 / -14%; E <sub>del,H+C</sub> = -71 / -73%; -55 / -61%		
9	2016	Impatto misure passive di adattamento al CC sui fabbisogni energetici dell'edificio	De Bilt (NL)	Temperata Cfb	5A	Residenziale, monofamiliare	Edificio tipo esistente	Nessun metodo applicato: anno 2006 usato come anno tipo per i dati climatici futuri	NEN 5060: 1986-2005; 2006 (anno tipo futuro)	n.d.	HDD	Simulazione dinamica; metodo gradi giorno	EnergyPlus	Diverse soluzioni: ed. 1970 / standard 2012 / RC50 / RC65: U <sub>wall</sub> = 2,5/0,29/0,2/0,15; U <sub>roof</sub> = 1,25/0,29/0,2/0,15; U <sub>w</sub> = 5,2 (vetro singolo)/1,62 (vetro doppio)	Sistema a tutt'aria per riscaldamento e raffrescamento	Q <sub>H,nd</sub> = -58/13% (165/80 > 70) Q <sub>C,nd</sub> = +800/246% (1/2,6 > 9) Q <sub>H+C,nd</sub> = -52/4% (166/82,6 > 79)	Diminuzione Q <sub>H,nd</sub> prevale molto su aumento Q <sub>C,nd</sub> , con minor Q <sub>H+C,nd</sub> ; soluzioni con più isolamento aumentano Q <sub>C,nd</sub> , riducibile aggiungendo schermature solari; altre soluzioni passive (tetti verdi, ventilazione naturale) insufficienti da sole.	
10	2016	Impatto del CC e del degrado da invecchiamento sui consumi energetici dell'edificio	Torino (IT)	Temperata Cfa	4A (zona E - IT)	Terziario, biblioteca	Edificio esistente	Stima diretta da previsioni IPCC; previsione "ibrida": <i>horizon years</i> ad intervalli di 10 anni	IWEC2 2010; 2020; 2030; 2040; 2050; 2060	B1, A2 (SRES)	Temperatura media annua; radiazione solare	Simulazione dinamica	IDA-ICE	Crescenti livelli di degrado / diverse soluzioni di mitigazione: U <sub>wall,roof</sub> = +30% / aumento spessore isolante U <sub>w</sub> = 1,1 / 0,6 / 0,6 g <sub>w</sub> = 0,65 / 0,49 / 0,16	Crescenti livelli di degrado / diverse soluzioni di mitigazione: aumento perdite, diminuzione efficienze / aumento T <sub>int,set</sub> e COP; Impianti: UTA + VAV; 2 caldaie a gas e gruppo frigorifero condensato ad aria	2010 > 2030 / Retrofit 2040 > 2060 E <sub>del,H</sub> = +21% / -24% (37 > 45 / 28 kWh/m <sup>2</sup> ) E <sub>del,C</sub> = +87% / +60% (15 > 28 / 24 kWh/m <sup>2</sup> ) EP <sub>tot</sub> = +17% / +5% (230 > 270 / 240 kWh/m <sup>2</sup> )	Effetto combinato del CC e del degrado provoca aumento dei consumi, ma misure di efficientamento ne riducono la portata. Aumento E <sub>del,C</sub> si riduce migliorando COP e aumentando T <sub>int,set</sub> estiva; riduzione E <sub>del,H</sub> favorita da serramenti migliori, aumento isolamento superfici opache meno efficace. In EP <sub>tot</sub> pesa aumento consumi elettrici, con fattore di conversione sfavorevole, rispetto a diminuzione consumi da combustibile.	
11	2017	Impatto del CC sui consumi energetici dell'edificio	Miami, FL (US)	Tropicale Aw	1A	Residenziale, plurifamiliare; Terziario, uffici	Edificio tipo esistente	Morphing da HadCM3; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TMY3 1976-2005; 2040-69	A1F1, A2 (SRES)	Temperatura media annua; irradianza solare; umidità relativa; HDD; CDD	Simulazione dinamica; metodo gradi giorno	EnergyPlus	Edifici tipo USA: 1) Low-rise residential building; 2) 6-storey office building	1) Riscaldamento: caldaia a gas; Raffrescamento: condizionatore terminale monoblocco;	E <sub>del,H</sub> = ±0%; -35/49%; -15/27%; -16/29% E <sub>del,C</sub> = +27/36%; +17/24%; +27/35%; +25/33% E <sub>del,tot</sub> = +14/19%; +5/7%; -2/6%; -4/9%	1) Diminuzione E <sub>del,H</sub> prevale su aumento E <sub>del,C</sub> nei climi freddi-temperati, con diminuzione E <sub>del,tot</sub> ; nei climi caldi avviene l'opposto, con aumento E <sub>del,tot</sub> .	
			Phoenix, AZ (US)	Arida BWh	2B										2) UTA + VAV; gruppi frigoriferi e caldaie a gas	E <sub>del,H</sub> = -18/24%; -10/14%; -9/15%; -9/15% E <sub>del,C</sub> = +12/16%; +7/9%; +7/9%; +7/10% E <sub>del,tot</sub> = -0,1%; -2/3%; -3/6%; -4/6%		2) Diminuzione E <sub>del,H</sub> prevale su aumento E <sub>del,C</sub> in tutti i climi, con leggera diminuzione di E <sub>del,tot</sub> , ma che mantiene valori elevati per gli uffici.
			Philadelphia, PA (US)	Temperata Cfa	4A													
			Chicago, IL (US)	Boreale Dfa	5A													
12	2017	Impatto del CC sul fabbisogno per riscaldamento	Madrid (ES)	Temperata Csa	3A	Residenziale, plurifamiliare	Edificio tipo esistente	Morphing da HadCM3; previsione "ibrida": <i>horizon years</i> ad intervalli di 10 anni	TMY2 2010; 2020; 2030; 2040; 2050	RCP 2.6, RCP 6.0, RCP 8.5	Ore riscaldamento (HH)	Modello RC basato su equivalenza termo-elettrica; validazione con simulazione dinamica	CCWorldWeatherGen; Matlab; Design Builder (EnergyPlus)	Miglioramenti progressivi nel tempo: U <sub>media</sub> = da 2,46 a 0,08	Teleriscaldamento e radiatori ad acqua ad alta T	Q <sub>H,nd</sub> = -40/-66%	Diminuzione consumi riscaldamento in tutti i climi con tendenze simili, a parità di interventi; differenze minime tra gli scenari di emissioni; impatto maggiore nel breve termine delle prime misure di isolamento; per climi caldi diminuzione netta delle ore di riscaldamento e carico < 15% del picco; per climi freddi diminuzione trascurabile HH ma carico < 30% del picco.	
			Milano (IT)	Temperata Cfa	4A (zona E - IT)										Q <sub>H,nd</sub> = -50/-70%			
			Amburgo (DE)	Temperata Cfb	5C										Q <sub>H,nd</sub> = -54/-72%			
			Yellowknife (CA)	Boreale Dsb	8										Q <sub>H,nd</sub> = -50/-75%			
			Resolute (CA)	Polare ET	8										Q <sub>H,nd</sub> = -44/-66%			
13	2017	Impatto del CC sui consumi energetici dell'edificio	Kaunas (LT)	Boreale Dfb	6A	Residenziale, plurifamiliare	Edificio tipo esistente; nuova costruzione	Morphing da 5 GCM; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	DATSAV3 1980-99; 2011-40; 2041-70; 2071-100	RCP 2.6, RCP 8.5	Temperatura media mensile	Simulazione dinamica	CCWorldWeatherGen; HEED	3 soluzioni: U <sub>wall</sub> = 0,36 / 0,1 / 0,05 U <sub>w</sub> = 0,4 + schermature	Sistema di condizionamento: SEER = 13 / 19,5; Ventilazione: ACH = 5 / 4 / 0,6 SLA = 2,5 / 2 / 0,3	E <sub>p,tot</sub> = -8,5/-29,6% Q <sub>H,nd</sub> = -8/-33% Q <sub>C,nd</sub> = +10/+16%	Diminuzione Q <sub>H,nd</sub> prevale molto su aumento Q <sub>C,nd</sub> , con diminuzione consumi totali.	
14	2018	Impatto del CC sui consumi energetici dell'edificio	Miami, FL (US)	Tropicale Aw	1A	Residenziale, plurifamiliare; Terziario, uffici	Edificio tipo esistente	Morphing da 14 GCM: intervallo compreso tra WP 10% e WP 95%; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TMY3 attuale; 2045; 2075; 2099	RCP 4.5, RCP 8.5	Temperatura media mensile;	Simulazione dinamica	WeatherShift; EnergyPlus	Edifici tipo DOE secondo standard ASHRAE 90.1-2004: 1) Mid-rise apartment building; 2) Medium office building	Edifici tipo DOE secondo standard ASHRAE 62.1-2004: 1) Mid-rise apartment building; 2) Medium office building	EP <sub>tot</sub> 1) = +5/20% EP <sub>C</sub> 1) = +5/18%	Necessità sempre maggiore raffrescamento influisce sull'aumento dei consumi totali; riscaldamento già attualmente poco impattante.	
			Baltimora, MD (US)	Temperata Cfa	4A											EP <sub>tot</sub> 1) = -2/+2% EP <sub>H</sub> 1) = -3/10% EP <sub>C</sub> 1) = 0/+10%		Consumi totali piuttosto stabili; calo riscaldamento compensa aumento raffrescamento.
			Boston, MA (US)	Boreale Dfa	5A											EP <sub>tot</sub> 1) = -5/10% EP <sub>H</sub> 1) = -8/20% EP <sub>C</sub> 1) = +2/10%		
15	2018	Impatto del CC sui fabbisogni energetici dell'edificio	15 città nel Mediterraneo	Arida Bsk	3B	Terziario, uffici	Edificio tipo esistente	Morphing da CESM1 (CAM5); previsione puntuale su <i>horizon year</i> tipici;	IWEC attuale; 2035; 2065; 2090	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5	Temperatura media annua; temperatura media mensile	Simulazione dinamica	TRNSYS	Diversi valori per località: 3B / 3A / 4A U <sub>wall</sub> = 1±0,8 / 0,7±0,3 / 0,28; U <sub>roof</sub> = 0,45±0,4 / 0,36±0,26 / 0,24; U <sub>floor</sub> = 0,9±0,7 / 0,5±0,3 / 0,28; U <sub>w</sub> = 5,7÷2 / 4÷1,8 / 1,4	Impianti non specificati (soli fabbisogni); ventilazione naturale	Q <sub>H,nd</sub> = -19 / -46 / -56%; Q <sub>C,nd</sub> = +88 / +181 / +258%; Q <sub>H+C,nd</sub> = +14 / +24 / +38%	In tutte le zone climatiche aumento Q <sub>H+C,nd</sub> per prevalenza aumento Q <sub>C,nd</sub> . In zona 3A (Valencia) aumento più marcato, mentre in zona 4A (Venezia) aumento lieve, contenuto da riduzione Q <sub>H,nd</sub> .	
				Temperata Csa	3A											Q <sub>H,nd</sub> = -8 / -41 / -58%; Q <sub>C,nd</sub> = +109 / +187 / +317%; Q <sub>H+C,nd</sub> = +47 / +85 / +120%		
				Temperata Cfa	4A											Q <sub>H,nd</sub> = -18 / -38 / -43%; Q <sub>C,nd</sub> = +123 / +277 / +377%; Q <sub>H+C,nd</sub> = +3 / +8 / +18%		

Effetti del cambiamento climatico sulle prestazioni energetiche degli edifici																	
Rif.	Anno	Argomento	Localizzazione	Zona climatica (Köppen)	Zona climatica (ASHRAE)	Destinazione d'uso	Categoria intervento	Generazione dati climatici futuri	Orizzonte temporale	Scenari emissioni	Parametri climatici	Metodo analisi energetica	Strumenti impiegati	Soluzioni involucro	Soluzioni impianti	Risultati	Conclusioni
16	2018	Impatto del CC sui fabbisogni energetici dell'edificio	Valencia (ES)	Temperata Csa	3A	Residenziale, monofamiliare	Edificio tipo esistente	Morphing da 2 RCM (ottenuti per downscaling dinamico da 2 GCM); previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TMY 1961-90; 2048-52; 2096-100	RCP 4.5, RCP 8.5	Temperatura media annua e mensile; HDD; CDD	Simulazione dinamica; metodo gradi giorno	TRNSYS	8 soluzioni: U <sub>wall</sub> = 1 / 0,23; U <sub>roof</sub> = U <sub>floor</sub> = 0,65 / 0,19; U <sub>w,g</sub> = 3,4 / 2,5; U <sub>w,f</sub> = 5,7 / 2,2; variazione A <sub>p</sub> ; con/senza schermature	1) Ventilazione naturale 2) Ventilazione meccanica + recuperatori di calore; impianti non specificati (soli fabbisogni)	Q <sub>H,nd</sub> = -58% / -90% / -99%; Q <sub>C,nd</sub> = +66% / +233% / +33%; Q <sub>H+C,nd</sub> = -50% / -66% / -65% / -88%	Le soluzioni passive permettono di ridurre Q <sub>H,nd</sub> e in modo drastico sul lungo periodo se si aggiunge recupero di calore; l'aumento di Q <sub>C,nd</sub> è più marcato se aumenta isolamento, ma può essere molto ridotto con schermature; la ventilazione meccanica non riduce molto i fabbisogni, è sufficiente il recupero del calore.

Studi con metodologia di ottimizzazione costo-prestazione																			
Rif.	Anno	Argomento	Localizzazione	Zona climatica (Köppen)	Zona climatica (ASHRAE)	Destinazione d'uso	Categoria intervento	Generazione dati climatici futuri	Orizzonte temporale	Scenari emissioni	Parametri climatici	Metodo analisi energetica	Strumenti impiegati	Soluzioni involucro	Soluzioni impianti	Risultati	Conclusioni		
17	2017	Ottimizzazione edificio in scenari climatici futuri e resilienza al CC	Firenze (IT)	Temperata Csa	3C (zona D - IT)	Stock edilizia residenziale pubblica (plurifamiliare)	Edificio esistente	Morphing da RCM COSMO CLM (CMCC); previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	TRY 2015-2035; 2036-2065; 2066-2095	RCP 4.5 (solo confronto file climatici); RCP 8.5 (anche per simulazione)	Temperatura media mensile; HDD; CDD;	Simulazione dinamica e ottimizzazione; metodo gradi giorno	Design Builder (EnergyPlus)	Standard (DM 26/06/2015): U <sub>op</sub> D = 0,28÷0,36; U <sub>op</sub> C = 0,34÷0,42; W = doppi vetri b-e + aria, con/senza schermature	Standard: caldaia a gas a condensazione; radiatori ad acqua a bassa T; multi-split	Attuale: Op = nessun isolamento; W = con/senza schermature	Attuale: caldaia a gas tipo B o C; radiatori ad acqua ad alta T; multi-split	EP <sub>H+C</sub> D = -8/16% EP <sub>H</sub> D = -20/49%; EP <sub>C</sub> D = +44/163%; EP <sub>H+C</sub> C = -19/28%; EP <sub>H</sub> C = -34/66%; EP <sub>C</sub> C = +64/247%	Necessità raffrescamento in futuro per entrambe zone D e C; in zona C livelli standard efficaci con S/V ridotto, isolamento avanzato più efficace con S/V maggiore; isolamento avanzato sempre costo-ottimale in zona D; le soluzioni costo-ottimali prevedono quasi sempre serramenti standard con schermature; maggiore resilienza e convenienza dell'impianto avanzato a pompa di calore; misure più robuste influenzate dall'utenza se prevedono ventilazione naturale e schermature manuali.
			San Vincenzo, Livorno (IT)	Temperata Csa	3C (zona C - IT)									Avanzato (2019-21): U <sub>op</sub> D e C = 0,20÷0,24 W = tripli vetri b-e + aria, con/senza schermature	Avanzato: pompa di calore aria-aria invertibile; multi-split				
18	2017	Ottimizzazione edificio in scenari climatici futuri e resilienza al CC	Parigi (FR)	Temperata Cfb	4A	Residenziale, monofamiliare	Edificio tipo esistente	Morphing da 14 GCM: WP 95% e WP 50%; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	IWEC attuale; 2026-2045	RCP 4.5, RCP 8.5	HDD; CH; giorni più caldi estate; giorni più freddi inverno	Simulazione dinamica e ottimizzazione; metodo gradi giorno	WeatherShift; TRNSYS; GenOpt	R <sub>op</sub> = 2,5÷1 decrescente; W = doppi vetri / tripli vetri, dim. costante	ELE: radiatori elettrici e sistema multi-split	EP <sub>tot</sub> = -8,5/14% (140 > 122/129); C <sub>G</sub> = -1,6/+4,5% (440 > 433/461)	Necessità raffrescamento in futuro; alta resilienza soluzioni HP; incertezza e minore resilienza soluzioni ELE; costi simili; EP <sub>tot</sub> in ELE quasi tre volte maggiore di EP <sub>tot</sub> in HP, nonostante nel primo caso diminuisca e nel secondo aumenti.		
														R <sub>op</sub> = 0,5÷0,25 costante; W = doppi vetri, dim. costante	HP: pompa di calore aria-aria invertibile	EP <sub>tot</sub> = +11% (46 > 51); C <sub>G</sub> = +1% (485 > 490)			
19	2019	Ottimizzazione edificio in scenari climatici futuri e resilienza al CC	Milano (IT)	Temperata Cfa	4A (zona E - IT)	Residenziale, plurifamiliare	Edificio tipo esistente	Morphing da 14 GCM: WP 95%; previsione puntuale su <i>horizon years</i> tipici	IWEC attuale; 2026-2045	RCP 4.5, RCP 8.5	HDD; CH; giorni più caldi estate; giorni più freddi inverno	Simulazione dinamica e EDeSSOpt; metodo gradi giorno	WeatherShift; TRNSYS; GenOpt	R <sub>op</sub> = 1,72÷1,15 decrescente; W = doppi vetri b-e + argon	Pompa di calore aria-acqua invertibile; fancoil; gas aux; PV policr. + aumento superficie PV	EP <sub>tot</sub> = -17/18%; C <sub>G</sub> = -1,4/2,2%; Q <sub>H,nd</sub> = -14/19%; Q <sub>C,nd</sub> = +107/111%	Necessità raffrescamento in futuro; alta resilienza impianti; importanza fotovoltaico per ridurre EP; incertezza e minore resilienza isolamento termico; buona resilienza serramenti.		

## Riferimenti bibliografici

- Wang, X., Chen, D., Ren, Z., 2010. Assessment of Climate Change Impact on Residential Building Heating and Cooling Energy Requirement in Australia. In *Building and Environment*, 45, 7, pp. 1663–82.
- Robert, A., Kummert, M., 2012. Designing Net-Zero Energy Buildings for the Future Climate, Not for the Past. In *Building and Environment*, 55, pp. 150–58.
- Nik, V.M., Sasic Kalagasidis, A., 2013. Impact Study of the Climate Change on the Energy Performance of the Building Stock in Stockholm Considering Four Climate Uncertainties. In *Building and Environment*, 60, pp. 291–304.
- Jylhä, K., Jokisalo, J., Ruosteenoja, K., Pilli-Sihvola, K., Kalamees, T., Seitola, T., Mäkelä, H.M., Hyvönen, R., Laapas, M., Drebs, A., 2015. Energy Demand for the Heating and Cooling of Residential Houses in Finland in a Changing Climate. In *Energy and Buildings*, 99, pp. 104–16.
- Andrić, I., Gomes, N., Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J., Lacarrière, B., Le Corre, O., 2016. Modeling the Long-Term Effect of Climate Change on Building Heat Demand: Case Study on a District Level. In *Energy and Buildings*, 126, pp. 77–93.
- Invidiata, A., Ghisi, E., 2016. Impact of Climate Change on Heating and Cooling Energy Demand in Houses in Brazil. In *Energy and Buildings*, 130, 2016, pp. 20–32.
- Moazami, A., Carlucci, S., Causone, F., Pagliano, L., 2016. Energy Retrofit of a Day Care Center for Current and Future Weather Scenarios. In *Procedia Engineering*, 145, 1877, pp. 1330–37.
- Shibuya, T., Croxford, B., 2016. The Effect of Climate Change on Office Building Energy Consumption in Japan. In *Energy and Buildings*, 117, pp. 1–11.
- van Hooff, T., Blocken, B., Timmermans, H.J.P., Hensen, J.L.M., 2016. Analysis of the Predicted Effect of Passive Climate Adaptation Measures on Energy Demand for Cooling and Heating in a Residential Building. In *Energy*, 94, pp. 811–20.
- Waddicor, D.A., Fuentes, E., Sisó, L., Salom, J., Favre, B., Jiménez, C., Azar, M., 2016. Climate Change and Building Ageing Impact on Building Energy Performance and Mitigation Measures Application: A Case Study in Turin, Northern Italy. In *Building and Environment*, 102, pp. 13–25.
- Shen, P., 2017. Impacts of Climate Change on U.S. Building Energy Use by Using Downscaled Hourly Future Weather Data. In *Energy and Buildings*, 134, pp. 61–70.
- Andrić, I., Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J., Lacarrière, B., Le Corre, O., 2017. The Impact of Climate Change on Building Heat Demand in Different Climate Types. In *Energy and Buildings*, 149, pp. 225–34.
- Sabunas, A., Kanapickas, A., 2017. Estimation of Climate Change Impact on Energy Consumption in a Residential Building in Kaunas, Lithuania, Using HEED Software. In *Energy Procedia*, 128, pp. 92–99.
- Aijazi, A.N., Brager, G.S., 2018. Understanding Climate Change Impacts on Building Energy Use. In *ASHRAE Journal*, 60, 10, pp. 24–32.
- Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., Tumminia, G., 2018. Climate Change and the Building Sector: Modelling and Energy Implications to an Office Building in Southern Europe. In *Energy for Sustainable Development*, 45, 2018, pp. 46–65.
- Pérez-Andreu, V., Aparicio-Fernández, C., Martínez-Iberón, A., Vivancos, J.L., 2018. Impact of Climate Change on Heating and Cooling Energy Demand in a Residential Building in a Mediterranean Climate. In *Energy*, 165, pp. 63–74.
- Pierangioli, L., 2017. Effetti Dei Cambiamenti Climatici Sulle Prestazioni Energetiche Degli Edifici Residenziali in Clima Mediterraneo. Il Caso Del Patrimonio Residenziale Pubblico INA-Casa e Gescal Della Toscana. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Firenze.
- Ferrara, M., Fabrizio, E., 2017. Cost Optimal NZEBs in Future Climate Scenarios. In *Energy Procedia*, 122, pp. 877–82.
- Bilardo, M., Ferrara, M., Fabrizio, E., 2019. Resilient Optimal Design of Multi-Family Buildings in Future Climate Scenarios. In *E3S Web of Conferences*, 111, 06006. Atto di congresso *CLIMA 2019*, Bucharest, Romania.