Urban Digital Twin come strumento a supporto delle prassi di pianificazione a scala urbana per il cambiamento climatico.

Analisi di cinque casi studio in ambito internazionale

Politecnico di Torino
Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in
Architettura Costruzione Città
a.a. 2020/2021

Urban Digital Twin come strumento a supporto delle prassi di pianificazione a scala urbana per il cambiamento climatico.

Analisi di cinque casi studio in ambito internazionale

relatore:
Prof. Guido Callegari

correlatore:
Arch. Pianificatore
Guglielmo Ricciardi

candidate:
Camilla D'Amanzo
Stefania Cecibel Feijoo Rivas

Copertina: connessione, Rawpixel

Indice

1. Introduzione **5**

2. Problemi urbani **9**

2.1. Urbanizzazione 16
2.2. Cambiamento climatico 24

3. Le innovazioni delle città **35**

4. Smart City **43**

4.1. Strumenti della Smart City 54
4.1.1. ICT 58
4.1.2. IoT 66
4.1.3. Big Data 72
4.1.4. GIS 78
4.1.5. Cloud Computing 82
4.1.6. SOA 90
4.1.7. Digital Twin 94

4.2. Le aree in cui la Smart City risponde ai problemi urbani 104
4.2.1. Salute 110
4.2.2. Trasporti 114
4.2.3. Sostenibilità 116
4.2.4. Servizi 120

5. Casi studio **123**

5.1. Helsinki 130
5.2. Zurigo 144
5.3. Monaco 162
5.4. Rotterdam 182
5.5. Singapore 198
5.6. Confronto finale 216

6. Conclusione **227**

7. Bibliografia **231**

8. Sitografia **237**

Introduzione

capitolo 1

«*La città del futuro è stata tradizionalmente il regno di urbanisti e sociologi, ma oggi stanno entrando in gioco altri protagonisti: i giganti dell'informatica, che utilizzano strumenti nuovi per inseguire lo stesso ideale*». (Ratti, 2017)

La progettazione delle città ha subito un radicale cambiamento negli ultimi anni, dovuto sia alle rivoluzioni tecnologiche, che hanno contribuito al progresso dell'architettura, che agli attuali problemi climatici legati alla crescente urbanizzazione, che hanno reso necessario un approccio transdisciplinare che porta all'espansione dei confini degli strumenti con cui si è abituati a pianificare.

Nella seguente ricerca si è deciso di investire su questo tema in quanto, nell'attuale ambiente in trasformazione, il ruolo dell'architetto rimane fondamentale e deve evolversi utilizzando modelli e strumenti digitali avanzati, per poter elaborare degli scenari complessi ed avere dei risultati concreti. Su questo argomento vi sono poche certezze e tutto è basato su ricerche, congetture e ipotesi, su cui anche tanti architetti e docenti hanno iniziato a lavorare. Pertanto, vista l'importanza dell'argomento, c'è una letteratura che inizia a costruirsi, ci sono delle sfide e delle politiche che sono state lanciate per far fronte ai crescenti problemi urbani.

La struttura della tesi parte dalla descrizione delle attuali problematiche che una città deve affrontare. Le città infatti si stanno espandendo in modo incontrollato a causa della migrazione di massa delle popolazioni dalle aree rurali a quelle urbane. I problemi della crescente urbanizzazione sono legati a quelli

causati da forti pressioni ambientali che si stanno ulteriormente intensificando a causa di diversi fattori che contribuiscono al cambiamento climatico. In questo contesto, il concetto di *Smart City* sta diventando sempre più oggetto di studio all'interno del dibattito architettonico, un nuovo modello di sviluppo urbano, capace di realizzare una risposta credibile e intelligente per favorire una crescita socio-economica sostenibile. Per far fronte ai problemi urbani si stanno adottando nuove strategie per ridurre il rischio e sviluppare sistemi urbani resilienti grazie all'utilizzo di strumenti tecnologici, capaci di ridurre i limiti e incrementare le opportunità. Infatti questi strumenti creano e forgiano la realtà fisica e intellettuale, cambiano il modo di interpretare il mondo, e fanno tutto ciò in maniera pervasiva, profonda e incessante.

Nella pianificazione urbana c'è bisogno di approcci che siano in grado di far fronte non solo alla complessità urbana, ma che consentano anche processi partecipativi e collaborativi, tra questi troviamo gli *Urban Digital Twin*, che hanno la capacità di affrontare sfide complesse per le città. Questa tecnologia sta cambiando la maggior parte dei settori della società, fornendo un modello più avanzato per far interagire il mondo fisico e quello digitale. Infatti questo strumento aiuterà urbanisti e progettisti nella comprensione degli impatti del cambiamento urbano previsto, consentendo anche ai cittadini di avere voce e opportunità di influenzare le decisioni nella pianificazione di città intelligenti e sostenibili.

Nella seconda parte la tesi è orientata a comprendere il processo che dai problemi del cambiamento climatico porta all'attuazione degli Urban Digital Twin, comprendendo le strategie di mitigazione e adattamento, le diverse azioni per la gestione di flussi di materia ed energia, dell'ambiente costruito e mobilità, e le tecnologie utilizzate per migliorare il processo di produzione del progetto e supportare lo sviluppo della pianificazione urbana. Questa analisi è stata affrontata attraverso cinque casi studio, che hanno adottato diverse politiche per rispondere all'emergenza climatica e hanno sviluppato un modello digitale della città. Gli Urban Digital Twin scelti sono Zurigo, Helsinki, Monaco e Rotterdam che si trovano nella classifica *Smart City Index 2021*[1], questo vale anche per Singapore che è collocata al primo posto della classifica come la città più sostenibile. Si è deciso di affrontare questa analisi in ambito internazionale in quanto i problemi urbani e le innovazioni tecnologiche sono un tema globale, quindi per affrontare il futuro delle città bisogna essere transdisciplinari e avere piena comprensione della complessità del mondo presente. La ricerca, dopo aver analizzato i singoli Urban Digital Twin, si concentra sul confronto diretto tra essi. L'obiettivo della ricerca è quello di comprendere, in modo tecnico, come queste città affrontano la questione del cambiamento climatico, quindi avere una panoramica complessiva dei piani d'azione per sviluppare un'analisi critica ed esporre gli aspetti positivi e individuare gli aspetti mancanti che le città dovrebbero implementare. Inoltre si vuole comprendere se, nelle strategie in risposta al cambiamento climatico, attraverso il supporto del *Digital Twin*, l'ambito architettonico viene trattato.

[1]Il Global Smart City Index 2021 utilizza i dati per rivelare le città più intelligenti del mondo, con un focus su come stanno adottando le nuove tecnologie per creare un presente e un futuro più sostenibili e vivibili per i loro cittadini (www.elementalexpo.com).

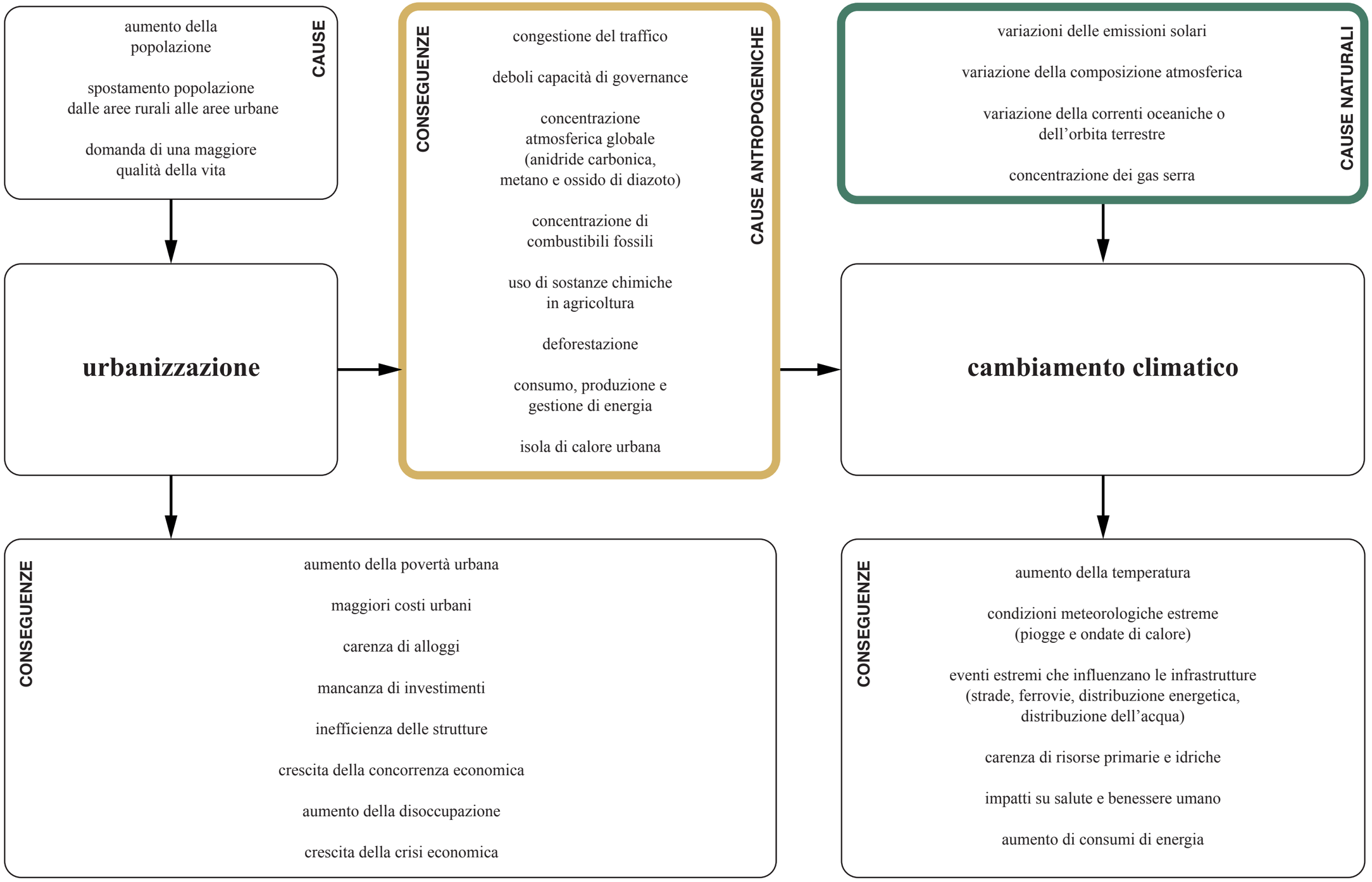
Problemi urbani

capitolo 2

a seguire:
i problemi urbani e le principali cause, elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

I sistemi urbani sono caratterizzati dalla stretta vicinanza spaziale di aree ad alta densità di popolazione. Le componenti principali delle città sono tre: lo spazio fisico che occupano, il livello dei servizi forniti e il ritmo dell'innovazione e della crescita della creatività. Questi componenti lavorano insieme per creare un'interazione intelligente tra la città e i suoi abitanti, migliorando al contempo la qualità della vita. Le città hanno un ruolo importante da svolgere nel promuovere il cambiamento sociale: sono sempre stati centri di crescita economica, innovazione, cultura e creatività.

Gli effetti di problemi come il cambiamento climatico, le ondate di calore e le inondazioni, l'inquinamento, la congestione, la criminalità, la mancanza di alloggi a prezzi accessibili e la carenza di acqua pulita ed elettricità sono maggiormente visibili a livello urbano. Tuttavia, le città stanno abbracciando sempre più l'innovazione e nuove tecnologie e, grazie alla concentrazione di persone, idee e risorse, stanno aprendo la strada verso soluzioni alle sfide globali oltre i propri confini. Le sfide associate ai problemi urbani sono state e sono ancora oggi in prima linea nel dibattito globale sullo sviluppo sostenibile. Per oltre tre decenni, le nozioni di città verdi, eco-città, città resilienti al clima e città più pulite si sono evolute e testate per affrontare le sfide che devono affrontare le città, i cittadini e il pianeta e mitigare le minacce alle città. Tuttavia, questi approcci hanno la tendenza a essere iniziative disconnesse, spot o settoriali piuttosto che completamente integrate e coordinate e guidate dalla pianificazione urbana. Negli ultimi anni, infatti molte organizzazioni ed esperti hanno fatto luce sulla complessità dei problemi affrontati a livello urbano, ma sebbene fatti e cifre sulle città siano altamente disponibili e il pro-


CAUSE
aumento della popolazione
spostamento popolazione dalle aree rurali alle aree urbane
domanda di una maggiore qualità della vita
urbanizzazione
CONSEGUENZE
congestione del traffico
deboli capacità di governance
concentrazione atmosferica globale (anidride carbonica, metano e ossido di diazoto)
concentrazione di combustibili fossili
uso di sostanze chimiche in agricoltura
deforestazione
consumo, produzione e gestione di energia
isola di calore urbana
CAUSE ANTROPOGENICHE
variazioni delle emissioni solari
variazione della composizione atmosferica
variazione della correnti oceaniche o dell'orbita terrestre
concentrazione dei gas serra
CAUSE NATURALI
cambiamento climatico
CONSEGUENZE
aumento della povertà urbana
maggiori costi urbani
carenza di alloggi
mancanza di investimenti
inefficienza delle strutture
crescita della concorrenza economica
aumento della disoccupazione
crescita della crisi economica
CONSEGUENZE
aumento della temperatura
condizioni meteorologiche estreme (piogge e ondate di calore)
eventi estremi che influenzano le infrastrutture (strade, ferrovie, distribuzione energetica, distribuzione dell'acqua)
carenza di risorse primarie e idriche
impatti su salute e benessere umano
aumento di consumi di energia

cesso di urbanizzazione sia sempre più documentato, resta difficile comprendere come il futuro delle città possa e debba essere plasmato.

La rapida espansione dell'urbanizzazione e degli abitanti delle città sta costringendo i responsabili politici, i ricercatori, i tecnici, i pianificatori, la società civile e la comunità mondiale a muoversi, rimboccarsi le maniche e non perdere tempo nella ricerca di nuove opzioni e nell'intraprendere azioni per affrontare in modo costruttivo questa realtà inevitabile.

2.1. Urbanizzazione

Nel ventunesimo secolo le città stanno subendo un'espansione incontrollata: il mondo è a un livello di urbanizzazione senza precedenti.
Per la maggior parte della storia le persone in tutto il mondo hanno vissuto soprattutto in ambienti rurali a bassa densità. Negli ultimi secoli, e in particolare negli ultimi decenni, la situazione è cambiata drasticamente: c'è stata una migrazione di massa di popolazioni dalle aree rurali a quelle urbane e oggi, secondo le stime delle *Prospettive mondiali di urbanizzazione delle Nazioni Unite* più di 4 miliardi di persone vivono nelle aree urbane, questo significa che oltre la metà del mondo vive in contesti urbani. (fig.1)
La migrazione verso paesi e città è molto recente, per lo più limitata agli ultimi 200 anni. Secondo le stime dell'ONU è il 2007 l'anno in cui il numero di persone nelle aree urbane ha superato il numero nelle aree rurali. (fig.2)
Nel 1800, ancora oltre il 90% della popolazione mondiale viveva nelle aree rurali. L'urbanizzazione negli Stati Uniti iniziò ad aumentare rapidamente durante il XIX secolo, raggiungendo il 40% entro il 1900 e quasi l'80% entro il 2000. Questo tasso di urbanizzazione è stato, tuttavia, superato dal Giappone, dove le quote urbane in Giappone erano basse fino al 20° secolo. Questo è aumentato rapidamente, raggiungendo oltre la metà della popolazione nel 1950; quasi l'80% entro il 2000 e fino a superare gli Stati Uniti a oltre il 90%. Cina e India non avevano tassi di urbanizzazione dissimili fino alla fine degli anni '80, tuttavia il tasso di urbanizzazione della Cina è aumentato rapidamente negli anni '90 e nel 2000, in questo periodo la sua quota urbana è più che raddoppiata. Invece l'aumento dell'India ha continuato a salire costantemente fino al 33% ad oggi[2].

[2] Ritchie, H. and Roser, M., 2018. *Urbanization*.

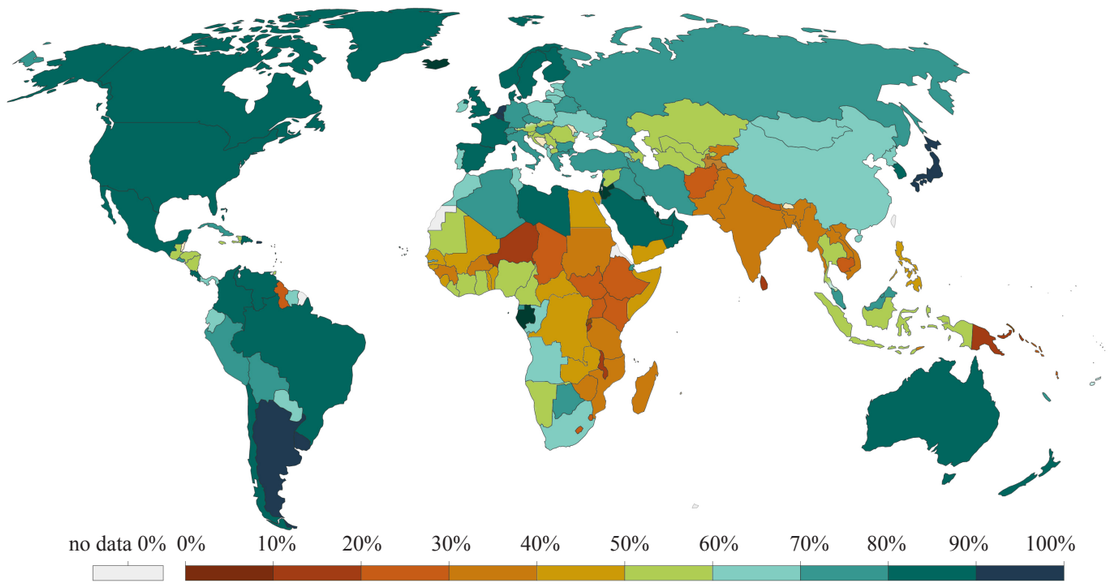


figura 1: share of people living in urban areas, 2020, OurWorlInData.org/urbanization. Rielaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

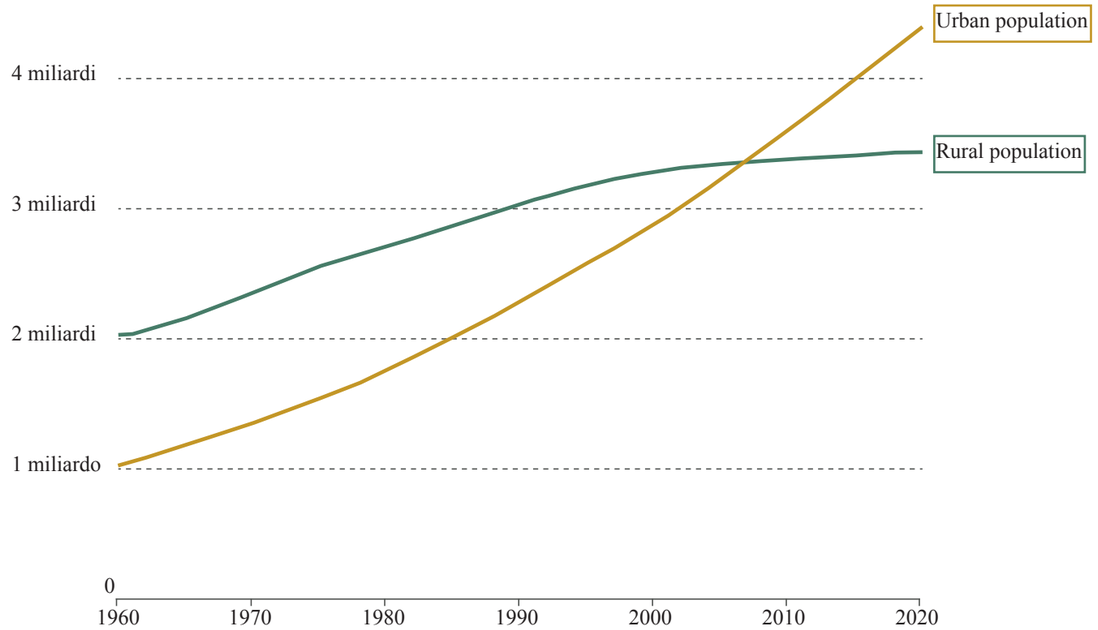


figura 2: number of people living in urban areas, World, 1960 to 2020, OurWorlInData.org/urbanization. Rielaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

[3] Il Centro comune di ricerca (JRC) è una direzione generale che fornisce un sostegno scientifico e tecnico alla progettazione, allo sviluppo, all'attuazione e al controllo delle politiche dell'Unione Europea.

[4] Caldeira, I., Carlsson, J. and Christidis P., 2019. *The future of cities: opportunities, challanges and the way forward*, pp.25-28.

[5] Ritchie, H. and Roser, M., 2018. *Urbanization*.

Secondo studi recenti del JRC[3], il 75% della popolazione mondiale vive attualmente in aree urbane. Nel 2015, le aree urbane hanno ospitato oltre 6,1 miliardi di persone, quasi il doppio rispetto al 1975, e la loro superficie edificata è aumentata del 20% dal 2000[4].

Mentre nel resto del mondo la popolazione è aumentata più velocemente rispetto le aree urbane, in Europa e Nord America si è verificato il contrario, il che significa che oggi viene occupato più territorio per accogliere nuovi cittadini rispetto al passato. Le città asiatiche hanno ospitato 1 miliardo di persone in più nel 2015 rispetto al 1990 (+ 40%), mentre in Africa, America Latina e Caraibi la popolazione urbana è quasi raddoppiata. Le aree urbane in Africa sono quasi raddoppiate in appena 25 anni, mentre in Asia sono aumentate del 65% e in America Latina e Caraibi di oltre un terzo. Quasi il 40% dell'espansione urbana complessiva e quasi l'80% della crescita della popolazione si sono verificati in Africa e in Asia negli ultimi 25 anni.

Mentre l'urbanizzazione senza precedenti si verifica nella maggior parte delle altre regioni del mondo, l'Europa mostra alcune tendenze distinte, in parte perché storicamente è stata molto più urbanizzata, ma anche a causa dei diversi modelli di urbanizzazione. In media, la rete delle città europee è più fitta rispetto ad altre parti del mondo, in cui prevalgono città di medie dimensioni. Le città europee con una popolazione compresa tra 250.000 e 5 milioni, avente una densità di 3.000 abitanti per km^2, sono quasi il doppio di quelle nordamericane, ma meno dense di quelle in Africa e in Asia. In effetti, l'Europa ha una bassa percentuale di residenti nelle città rispetto al resto del mondo[5].

Le proiezioni del JRC fino al 2030 mostrano che si prevede che nella maggior parte degli stati europei si registrerà una crescita della popolazione urbana. In effetti, alcuni paesi vedranno una crescita significativa della loro popolazione urbana, in particolare in Francia, in Italia e in Germania. Tuttavia, è previsto un calo della popolazione in Spagna, Portogallo e Lituania.

Le prospettive dell'urbanizzazione mondiale delle Nazioni Unite forniscono stime delle quote urbane nel mondo fino al 2050, secondo le quali più di due terzi del mondo vivrà in aree urbane. In tutti i paesi si prevede che le quote urbane aumenteranno nei prossimi decenni, anche se a ritmi variabili. Entro il

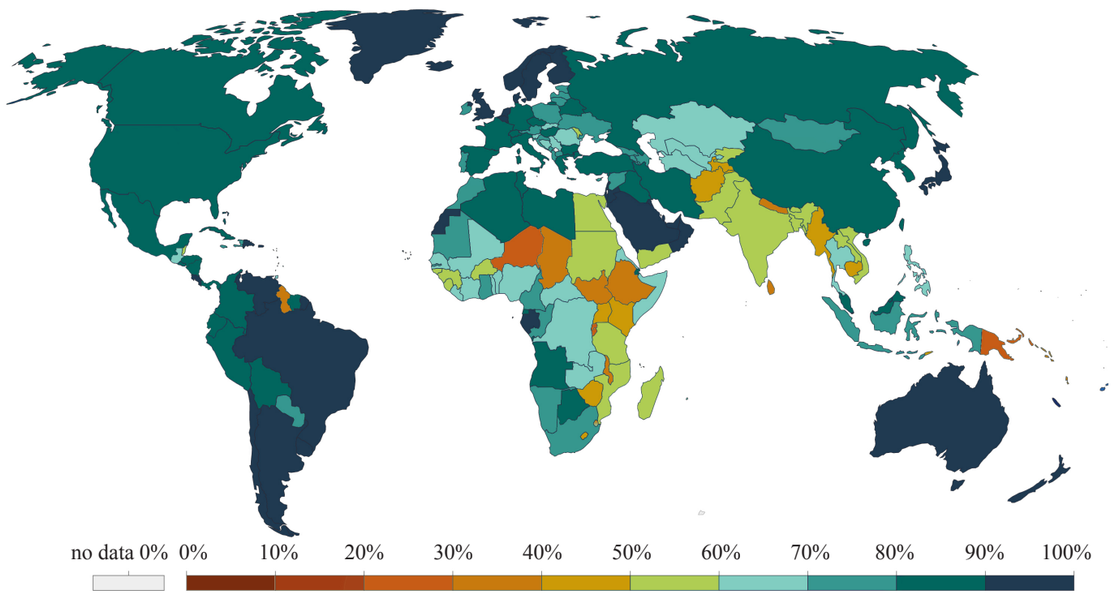


figura 3: whit every increment of global warming changes get larger in regional mean temperature, precipitation and soil moisture, OurWorlInData.org/ urbanization. Rielaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

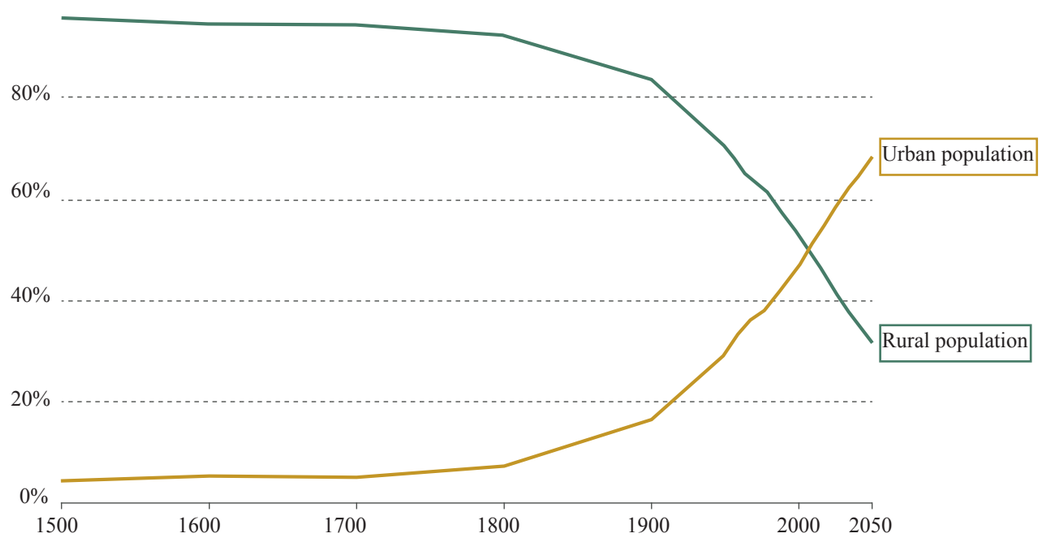


figura 4: do more people live in urban orrural areas? World, 1500 to 2050, OurWorlInData.org/ urbanization. Rielaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

[6] Ritchie, H. and Roser, M., 2018. *Urbanization*.

2050, si stima che il 68% della popolazione mondiale vivrà in aree urbane, in effetti sono pochissimi i paesi in cui si prevede che le quote rurali saranno superiori a quelle urbane. Nel 1950 erano prevalentemente i paesi ad alto reddito ad essere in gran parte urbani, mentre un secolo dopo, nel 2050, si prevede che la maggior parte dei paesi avrà più persone che vivono nelle aree urbane. (fig.3) Anche se si suppone che la maggior parte dei paesi sarà prevalentemente urbanizzata, il totale globale della popolazione che risiede nelle città supera di poco i due terzi, questo deriva dal fatto che molti dei paesi più popolati del mondo hanno quote urbane relativamente basse. Ad esempio, l'India, che dovrebbe essere il paese più popoloso del mondo, dovrebbe avere una quota urbana solo del 53% nel 2050.

Si prevede che entro il 2050 la popolazione mondiale aumenterà fino a circa 9,8 miliardi: 6,7 miliardi delle persone nel mondo vivrà in aree urbane e 3,1 miliardi in quelle rurali[6]. (fig.4)

Ci sono molti fattori che suggeriscono che, in media, il tenore di vita è più alto nelle popolazioni urbane che in quelle rurali. Per esempio nelle aree urbane:

- l'accesso all'elettricità è maggiore;
- l'accesso a servizi igienico-sanitari migliori è maggiore;
- l'accesso all'acqua potabile è maggiore;
- l'accesso a combustibili puliti per cucinare e riscaldare è maggiore;
- la malnutrizione infantile è più bassa.

Si può notare che è difficile determinare il nesso tra l'urbanizzazione e questi esempi. Poiché l'urbanizzazione mostra una forte correlazione con il reddito, tali relazioni possono invece semplicemente mostrare l'effetto di redditi più elevati sull'accesso all'elettricità, servizi igienico-sanitari, acqua potabile e alimentazione. Inoltre, possono esserci anche disuguaglianze significative all'interno delle aree urbane, ciò è dimostrato dal fatto che in molti paesi a reddito medio-basso un'elevata quota della popolazione urbana vive in famiglie slum, cioè che non hanno accesso a tutte le risorse di base.

I fattori chiave dell'urbanizzazione includono i cambiamenti demografici (variazione della popolazione nonché migrazione rurale-urbana, immigrazione e mutamento delle strutture) e crescita economica (PIL, investimenti in

[7] Bich Ngoc Nguyen, T. and Linh Do, T., 2021. *Some solutions of "Smart city" in response to urban climate change*, pp.1-3.

a sinistra:
Quarry Bay, Hong Kong
fotografa di Steven Wei

ricerca e sviluppo, occupazione e della vita e della fornitura di servizi nelle città).

L'urbanizzazione sta provocando anche altri problemi che si stanno sempre più aggravando, tra questi: la povertà urbana, l'inefficienza energetica, la cattiva prestazione di servizi e di infrastrutture, l'uso improprio del suolo e delle risorse non rinnovabili, gli alti costi urbani, la carenza di alloggi, la mancanza di investimenti, le deboli capacità finanziarie e di governance, la crescente disuguaglianza e il degrado ambientale.

Alla conferenza su Smart City: *International Practices and Experiences, Prospects in Vietnam for the period of 2016-2030* tenutasi il 28 agosto 2015 ad Hanoi, Nguyen Thien Nhan ha osservato che lo sviluppo urbano ha posto quattro principali questioni che devono essere affrontate:

1. l'aumento dell'urbanizzazione (incremento della popolazione urbana e del numero di città) e di conseguenza l'aumento dei problemi urbani (ambiente, traffico, servizi sanitari, sicurezza, alloggi, ecc.);
2. il sovraccarico e l'efficienza delle infrastrutture (elettricità, acqua, traffico);
3. la crescita della concorrenza economica tra città e tra regioni;
4. l'aumento della domanda, da parte delle persone, di una maggiore qualità della vita (istruzione, sanità, governo)[7].

Le città continuano a svolgere un ruolo chiave nella vita della maggior parte della popolazione in quanto svolgono una funzione cruciale nello sviluppo sociale ed economico dei territori. Allo stesso tempo, i centri urbani possono favorire la disoccupazione e la crisi economica portando così ad un aumento dell'esclusione, della segregazione e della polarizzazione.

Dall'inizio di questo secolo, il rapido incremento dell'urbanizzazione ha messo le società e i governi di tutto il mondo a dover affrontare numerose problematiche riguardanti temi come lo sviluppo sostenibile, l'istruzione, l'energia, l'ambiente e la sicurezza.

2.2. Cambiamento climatico

Le problematiche nate dalla crescente urbanizzazione sono accompagnate da forti pressioni ambientali, come il rapido sfruttamento delle risorse naturali e la minaccia della carenza di acqua, di cibo e di energia per le città, cruciali per il benessere generale dei cittadini. Inoltre queste pressioni ambientali si stanno ulteriormente intensificando a causa del cambiamento climatico, generato da una serie di problemi che non provengono solo dalle città ma anche da altri fattori, tra cui la deforestazione, l'inquinamento marino, l'uso di sostanze chimiche in agricoltura, ecc.

Nel corso della storia il clima terrestre ha subito numerose variazioni: negli ultimi 650.000 anni si sono verificati sette cicli di gelo e disgelo dei ghiacciai. Il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC)[8], nel *Quinto rapporto sui cambiamenti climatici* (2014), afferma che dalle attività umane proviene il 95% dell'inquinamento globale a cui seguono le relative conseguenze. Secondo questo rapporto, la temperatura media nell'atmosfera è aumentata di 0,65-1,06°C dalla fine del XIX secolo[9]. (fig.5)

Il cambiamento climatico è il termine comunemente collegato al problema del riscaldamento e raffreddamento globale derivante dall'aumento delle emissioni di Greenhouse Gases (GHG)[10]. Secondo la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC[11]) il cambiamento climatico si definisce come «*il cambiamento del clima che sia attribuibile direttamente o indirettamente ad attività umane, che alterino la composizione dell'atmosfera planetaria e che si sommino alla naturale variabilità climatica osservata su intervalli di tempo analoghi*» (2014).

I cambiamenti climatici sono i mutamenti del clima a livello globale, variazio-

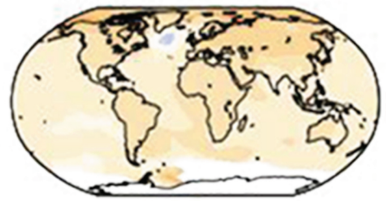
[8] Il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC) è il foro scientifico formato da due organismi delle Nazioni Unite, l'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) e il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) allo scopo di studiare il riscaldamento globale (Wikipedia).

[9] 2018. IPCC: Global Warming of 1.5°C, p.27.

[10] GHG: gas serra

[11] La Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) è un trattato ambientale internazionale prodotto dalla Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite, che punta alla riduzione delle emissioni dei gas serra, alla base del riscaldamento globale (Wikipedia).

a) Annual mean temperature change (°c) at 1°C global warming



Observed change per 1°C global warming

Warming at 1°C affects all continents and is generally larger over land than over the ocean in both observations and models. Across most regions, observed and simulated patterns are consistent.

Simulated change at 1°C global warming

b) Annal mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

Simulated change at 1,5 °C global warming

Across warming levels, land areas warm more than ocean, and the Artic and Antartic warm more than the tropics

Simulated change at 2 °C global warming

Simulated change at 4 °C global warming

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7
change (°C)

figura 5: Whit every increment of global warming, changes get larger in regional mean temperature, percipitation and soil moisture. IPCC, 202:summary for policy-makers. Rielaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

[12] Schiavon, S., Zecchin, R. 2007. *Climate Change 2007: Causes, impacts, mitigation. UC Berkeley: Center for the Built Environment.* pp.2-4.

[13] Ivi pp.2.

ni dei valori medi o rispetto la media, generati sia da cause antropogeniche che da quelle naturali e si producono in diverse scale temporali, con ripercussioni su tutti i parametri del clima, ad esempio, precipitazioni e temperatura. (fig.6) Tra i fattori naturali si riscontrano i cambiamenti delle emissioni di radiazioni solari, delle correnti degli oceani, dell'orbita terrestre e della composizione dell'atmosfera, i quali possono alterare il clima della Terra modificando il bilancio radiativo e la distribuzione di energia[12]. Diversamente, le cause antropogeniche comprendono la concentrazione di anidride carbonica, ossido di diazoto, metano che è aumentata in modo significativo, superando i valori pre-industriali, a causa delle attività antropiche. L'incremento di CO_2 è dovuto soprattutto al notevole utilizzo di combustibili fossili, invece l'ossido di diazoto, il metano sono aumentati a causa principalmente dell'agricoltura.

Inoltre l'uomo influenza anche altri cambiamenti climatici oltre la temperatura, ad esempio la crescita delle temperature medie, delle temperature degli oceani e dei percorsi del vento.

L'atmosfera influisce fondamentalmente sul clima: se non esistesse, la temperatura sulla Terra sarebbe di -20°C. I principali gas serra sono l'anidride carbonica (CO_2), il vapore acqueo, l'ossido di diazoto (N_2O), il metano (CH_4) e l'ozono (O_3) e possono essere sia di origine naturale che antropica. La presenza nell'atmosfera di gas serra implica che le radiazioni solari emesse dal sole vengano riemesse e assorbite nell'atmosfera stessa. Questo comporta l'aumento della temperatura media superficiale e determina una temperatura di equilibrio di circa 15°C[13]. Se si riscontra una variazione dell'equilibrio si verifica un mutamento della condizione termica media globale.

Il riscaldamento globale è un aumento medio delle temperature vicino alla superficie terrestre e nello strato più basso dell'atmosfera e può contribuire a sviluppare fenomeni come il riscaldamento delle acque oceaniche, il ritiro dei ghiacciai, l'innalzamento del livello del mare, eventi catastrofici, come uragani ed intense piogge.

L'influenza delle città sul cambiamento climatico dipende dal consumo, dalla produzione e dalla gestione di energia, per questo c'è un forte nesso tra il numero di abitanti, le emissioni e il PIL di una città. Gran parte dell'energia è

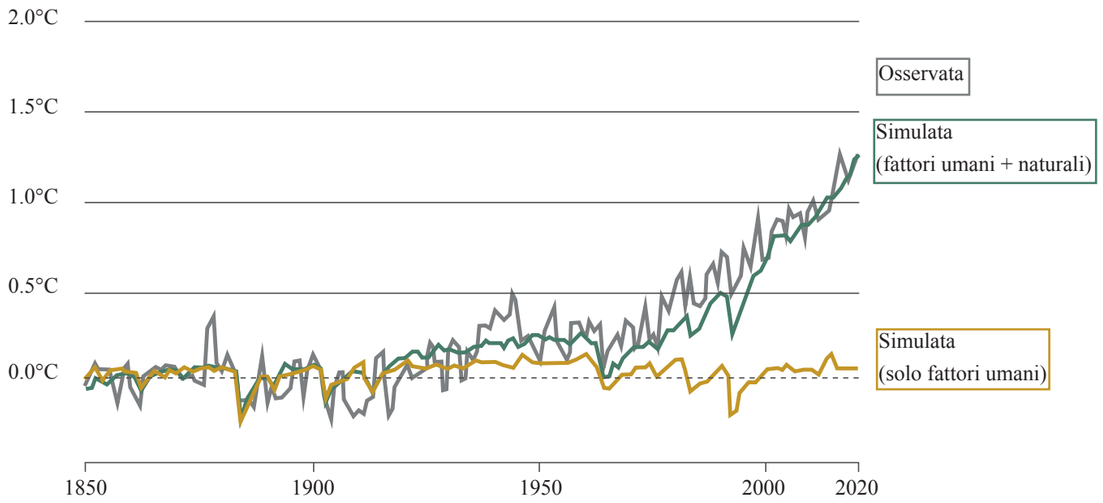


figura 6: riscaldamento globale antropico. IPCC, 2021: summary for policymakers. Rielaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

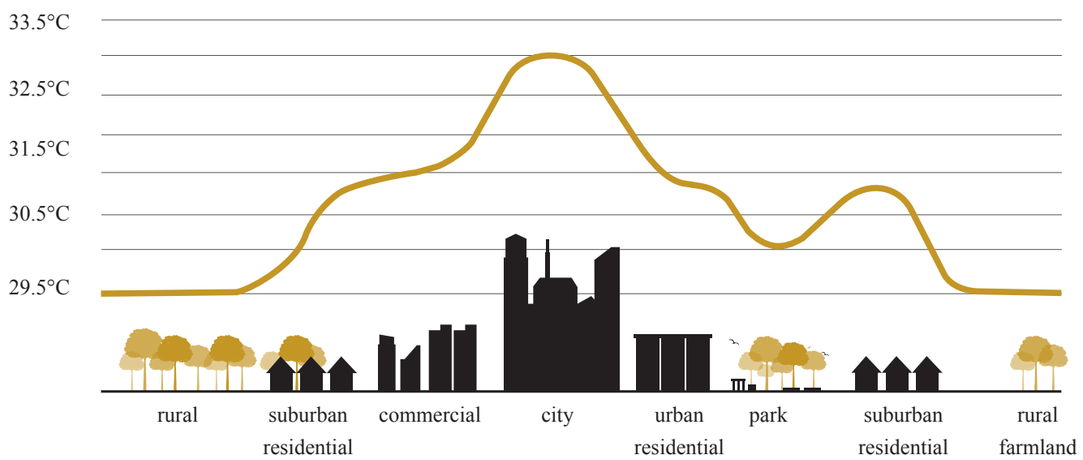


figura 7: urban heat island profile, metlink.org/fieldwork-resource/urban-heat-island-introduction/. Rielaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo.

prodotta da fonti rinnovabili ma oggi, non è sufficiente per ridurre le conseguenze dei cambiamenti climatici: le città più grandi consumano i due terzi dell'energia mondiale. L'urbanizzazione, ha aumentato indubbiamente le emissioni inquinanti, ma anche la gestione dell'energia ne è una principale causa.

Un altro aspetto che può apparire paradossale è la gestione della densità di una città in quanto di solito ad una città densa si associano maggiori emissioni di CO_2, ma non è esatto: una città che si espande in maniera tentacolare necessita di una maggiore fornitura di energia per le infrastrutture e per i servizi rispetto una città densa. Ad esempio Madrid e Atlanta hanno emissioni di CO_2 differenti: Madrid ha una superficie territoriale vasta il doppio e una densità cinque volte maggiore rispetto ad Atlanta, ma nonostante ciò le emissioni risultano essere quattro volte inferiori. Questo è dovuto all'ottimizzazione degli spazi, delle risorse e delle energie. Nonostante una città più densa produce meno emissioni, non è un aspetto sufficiente a mitigare i cambiamenti climatici.

L'isola di calore urbana (UHI) è un fenomeno che si verifica nelle città di tutto il mondo, la sua intensità aumenta con il crescere delle dimensioni dell'area urbana. Inoltre, è stata dimostrata anche la dipendenza dell'intensità dell'UHI dalla situazione economica. Durante l'estate si sono manifestate tendenze in forte aumento, ma a seconda delle caratteristiche urbane, come la geografia e il clima, anche durante le altre stagioni sono comparse tendenze in aumento. L'isola di calore urbana è un'area urbana dove le temperature sono sensibilmente superiori a quelle delle zone circostanti e causa problemi come cambiamenti nell'umidità relativa, aumento del consumo di energia e stress termico umano. L'UHI nasce dalla modifica antropica dei paesaggi naturali e dai conseguenti mutamenti atmosferici e termofisici nello strato limite urbano. La sua formazione può essere principalmente attribuita all'aumento dell'assorbimento della radiazione solare nei tessuti urbani edificati e ad altri fattori, tra cui la densità di popolazione delle aree edificate e le frazioni di vegetazione. (fig.7)

Il profilo dell'isola di calore mostra come parchi e aree verdi all'interno di una zona centrale può aiutare a ridurre le isole di caldo. In generale, in estate le

isole di calore aumentano la richiesta di aria condizionata portando a una maggiore contaminazione dell'aria. Inoltre aumenta anche l'incidenza di malattie e decessi correlati a caldo. Persone ad alto rischio sono gli anziani, i bambini e le persone con malattie respiratorie preesistente.

Gli effetti del cambiamento climatico provocano delle conseguenze su:

- l'energia, l'aumento delle temperature provocherà un aumento delle bollette energetiche poiché i consumatori utilizzano più aria condizionata;
- la salute, le temperature estreme come l'eccessiva esposizione al calore contribuisce alla malattia;
- l'agricoltura e la fauna selvatica, la variabilità meteorologica irregolare implica la mancanza di un adeguato approvvigionamento idrico e l'aumento della temperatura può provocare un peggioramento della produzione delle colture e un aumento dei costi alimentari;
- le risorse idriche, la temperatura e le irregolarità meteorologiche aumentano la possibilità di inondazioni e siccità e influiscono sulla qualità e sulla disponibilità dell'approvvigionamento globale di acqua dolce.

Gli impatti ambientali dell'urbanizzazione sono molteplici infatti le aree urbane ad alta densità sono associate a perdita, frammentazione, isolamento e inquinamento degli habitat naturali, introduzione e diffusione di specie esotiche, accumulo di prodotti di scarto e cambiamenti del clima e dei processi idrologici: circa il 60-70% delle emissioni di GHG derivate a livello globale proviene dalle città. Un'elevata concentrazione di particolato è un pericolo per la salute e ogni anno, il 5,3% dei decessi nel mondo sono attribuibili all'aria. Per quanto riguarda l'acqua, si osservano alti livelli di contaminazione dove la densità di popolazione è alta e gli standard igienico-sanitari sono bassi.

Le città sono altamente vulnerabili agli impatti del degrado ambientale globale per i seguenti motivi:

- elevata esposizione ai disastri naturali causati dal clima e ai cambiamenti climatici;
- concentrazione di persone vulnerabili (ad esempio, i poveri);
- accessibilità insufficiente ai servizi urbani con conseguenze sociali e impatti ambientali.

L'ultima relazione speciale dell'IPCC ha fornito prove scientifiche aggiornate degli impatti trasformativi del riscaldamento globale sul nostro ambiente e il suo ruolo nell'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi.[14] I residenti delle città e le infrastrutture critiche da cui dipendono dovranno affrontare inondazioni, siccità, ondate di calore e piogge intense più frequenti insieme ad altri rischi legati al clima.

Le principali conclusioni raggiunte dall'IPCC sono le seguenti:

- la temperatura superficiale globale continuerà ad aumentare almeno fino alla metà del secolo in tutti gli scenari di emissioni considerati. Il riscaldamento globale di 1,5°C e 2°C sarà superato durante il 21°;
- aumento del livello del mare tra i 26-82 cm, in circa il 95% delle aree oceaniche, nello stesso periodo;
- aumento della frequenza e dell'intensità delle temperature estreme, le ondate di calore marine e le forti precipitazioni, la siccità agricola ed ecologica in alcune regioni e la percentuale di cicloni tropicali intensi, nonché la riduzione del ghiaccio marino artico e del manto nevoso;
- episodi di pioggia estreme più intense e frequenti che si verificano in molte regioni di latitudini medie e climi tropicali umidi medi;
- si prevede che il continuo riscaldamento globale intensificherà ulteriormente il ciclo globale dell'acqua, compresa la sua variabilità, le precipitazioni monsoniche globali e la gravità degli eventi umidi e secchi;
- destabilizzazione degli ecosistemi;
- diminuzione delle risorse alimentari;
- iduzione delle risorse idriche superficiali e acque sotterranee nella maggior parte delle regioni aride subtropicali;
- aumento del rischio di cambiamenti bruschi e irreversibili all'aumentare dell'entità del riscaldamento;
- i cambiamenti in diversi fattori di impatto climatico sarebbero più diffusi a 2°C rispetto a 1,5°C del riscaldamento globale e ancora più diffusi e/o pronunciati per livelli di riscaldamento più elevati.

I rischi legati al clima dipendono dall'entità e dal tasso di riscaldamento, dall'ubicazione geografica e dai livelli di sviluppo e vulnerabilità, nonché dal-

[14] Caldeira, I., Carlsson, J. and Christidis P., 2019. *The future of cities: opportunities, challanges and the way forward,* pp.83-84.

a seguire:
#CleanAirNow
campagna di sensibilizzazione realizzata da Ogilvy per Greenpeace

WE CAN
ONLY CHANGE
2030

IF WE ALL
DEMAND A CHANGE
IN 2020

Pledge your support at greenpeace.org
#CleanAirNow

GREENPEACE

WE CAN
ONLY CHANGE
2030

IF WE ALL
DEMAND A CHANGE
IN 2020

Pledge your support at greenpeace.org
#CleanAirNow

GREENPEACE

le opzioni di adattamento e mitigazione che si utilizzeranno e dalla loro implementazione. Questi rischi si tradurranno in un aumento del livello del mare che interesserà le città costiere e gli impatti sulle infrastrutture costruite, problemi di salute derivanti da temperature medie più elevate ed eventi estremi, aumento della domanda e dell'uso di energia ed effetti negativi sulla la disponibilità e sulle risorse idriche. Molti ecosistemi terrestri e oceanici e alcuni benefici che forniscono sono già cambiati a causa del riscaldamento globale. Alcuni impatti possono essere di lunga durata o irreversibili, come la perdita di alcuni ecosistemi. Le popolazioni più a rischio di subire conseguenze negative dal riscaldamento globale sono popolazioni svantaggiate e vulnerabili, popolazioni indigene e comunità locali che dipendono dai mezzi di sussistenza agricoli o costieri (IPCC, 2021).

Inoltre la crescita prevista della popolazione urbana globale potrebbe anche portare a significativi aumenti delle emissioni di gas serra in più settori e cambiamenti al microclima urbano a causa dell'effetto isola di calore urbano.

I futuri rischi legati al clima diminuirebbero con l'aumento della mitigazione dei cambiamenti climatici, intraprendendo un adattamento graduale e trasformativo. Esiste un'ampia gamma di opzioni di adattamento per ridurre:

- rischi per gli ecosistemi, ad esempio la prevenzione del degrado e della deforestazione, la gestione della biodiversità, l'acquacoltura sostenibile e la conoscenza locale e indigena;
- rischi per aumento del livello del mare, ad esempio la difesa e il rafforzamento delle coste;
- rischi per la salute in contesti rurali, ad esempio le pratiche di irrigazione efficienti, le reti di sicurezza sociale, gestione del rischio di catastrofi, diversificazione e distribuzione dei rischi e adattamento basato sulle comunità;
- rischi per la salute in aree urbane, ad esempio infrastrutture verdi, uso e pianificazione sostenibile del suolo e gestione sostenibile delle acque.

Si può sostenere che la crisi climatica che ci troviamo ad affrontare nel ventunesimo secolo è un risultato diretto dell'industrializzazione del diciannovesimo secolo e delle soluzioni di pianificazione dell'uso del suolo e di progettazione urbana del ventesimo secolo. Il problema del cambiamento climatico globale è stato creato in gran parte dalle città industrializzate e circa il 60-70% delle emissioni di gas serra sono prodotte dalle città, in quanto la popolazione risiede soprattutto nelle aree urbane e industrializzate. Nello specifico, secondo i dati dell'Unione Europea, la mobilità urbana rappresenta lo 40% di tutte le emissioni di CO_2 del trasporto terrestre fino al 70% del resto degli inquinanti che provengono dai trasporti.

in alto:
Above the clouds, fotografia di Barbara Zanon per l'International Photo Awards.

Sia nel mondo sviluppato che in quello in via di sviluppo, le città sono diventate il centro dell'attività economica sociale e questo è il motivo per cui l'attenzione globale su come le città possono gestire le proprie risorse in modo più efficiente, contribuire ad una vita più sostenibile dei cittadini di tutto il mondo. Ora si devono utilizzare i principi dell'efficienza spaziale, dell'organizzazione e dell'innovazione tecnologica per realizzare delle città più sostenibili. È necessario implementare azioni di resilienza urbana che siano in grado di mitigare i rischi naturali e convertire i problemi territoriali in risorse e opportunità territoriali. Inoltre è fondamentale l'attuazione consapevole di una governance per intraprendere azioni di sensibilizzazione urbana con lo scopo di creare una comunità che partecipi attivamente alla promozione di politiche di resilienza urbana e alla creazione di una città sostenibile.

Innovazioni delle città

capitolo 3

Per comprendere le teorie contemporanee di pianificazione urbana è importante capire come si sono evoluti nel tempo gli insediamenti della popolazione fino ad arrivare alle attuali strategie di Smart City.

L'origine del processo di urbanizzazione delle città è stata la rivoluzione industriale, portando a un cambiamento sia nel settore economico, nelle metodologie e nella scala di produzione e sia nelle funzioni e nella forma delle città stessa.

I modelli insediativi che per millenni hanno segnato gli stanziamenti dei popoli subiscono un importante mutamento: gli individui dalla campagna si spostano verso la città che offre numerosi impieghi e servizi. Questo porta alla nascita di insediamenti più densi rispetto all'abitare diffuso usato in precedenza.

Il modello di sviluppo urbano creato dall'industria, degli ultimi due secoli, porta un gran numero di città ad una trasformazione che si sviluppa in quattro fasi:

- città industriale: la prima fase può essere definita di urbanizzazione e riguarda la crescita demografica dei centri urbani. Ingenti masse di popolazione infatti lasciano le aree rurali in quanto sono attratte dalle molteplici attività industriali svolte all'interno delle città;
- città fordista: la seconda fase riguarda il processo di suburbanizzazione, che porta alla crescita dei centri minori attorno al centro principale, creando così un'area metropolitana;
- città post-industriale: la terza fase fa riferimento alla de-urbanizzazione. La popolazione e le attività produttive, a causa del traffico, dell'inquinamento, della mancanza di spazi e dell'aumento dei costi, si spostano in aree periferiche invertendo il trend demografico;

a sinistra:
Evoluzione della skyline di New York(1876-2013). Creazione di Luca Gentile

[15] Urban renewal detto anche rigenerazione urbana è un piano di riqualificazione del territorio spesso utilizzato per affrontare il degrado urbano nelle città (Wikipedia).

• città contemporanea: la quarta fase corrisponde alla ri-urbanizzazione, in quanto a causa dell'implementazione delle attività nei diversi settori, la città torna ad essere un polo attrattivo.

I problemi di infrastrutturazione, di emarginazione e condizione abitativa sono solo alcune delle complesse questioni, in molti casi ancora irrisolte, che emergono all'interno di queste fasi e che portano l'urbanistica ad individuarne cause e soluzioni.

Gli standard urbanistici durante il secondo dopoguerra raggiungono gli anni d'oro, in cui si sviluppano strumenti di determinazione delle infrastrutture necessarie che successivamente diventano strumenti flessibili che forniscono linee guida per la pianificazione, e di conseguenza per i limiti e le direzioni di sviluppo.

Negli anni Sessanta si può riscontrare il passaggio di diverse strategie di pianificazione urbana:

- "hard renewal", che riguarda interventi fisici importanti;
- "soft renewal", attenta alle popolazioni residenti;
- "integrated renewal", che utilizza la combinazione di differenti approcci e di diversi interventi tra cui fisici, economici e sociali.

A partire dagli anni Settanta in Europa si inizia a parlare di urban renewal[15], in cui nascono degli scontri a causa di politiche che riguardano i beni collettivi, come i servizi pubblici, le abitazioni, la scuola e la formazione.

In questi anni, in seguito alla fine dell'industrializzazione e alla precarietà nel mercato del lavoro, si riscontra un processo di frammentazione spaziale e sociale, che creano emarginazione e aumentano la distanza tra i quartieri ricchi e quelli poveri. Per risolvere la mancanza di risorse, negli anni Ottanta avviene una profonda modifica della politica urbana, in cui per la ricostruzione della città il governo coopera con il settore privato. La pianificazione urbana di quegli anni, oramai inadeguata, incentiva gli investimenti privati e si evolve abbandonando i vecchi strumenti e optando per interventi a progetto, riducendo così gli spazi dell'azione pubblica.

Le diverse crisi di quegli anni, tra cui quella petrolifera e quella industriale, mettono in discussione il modello di crescita della città avuto durante le fasi

Urban

Rural

a sinistra:
Rural vs Uban
Elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S.Feijoo.

precedenti. Le città iniziano ad essere caratterizzate da processi di rilocalizzazione e dismissione delle attività produttive che causano perdite delle occupazioni, trasformando il mercato del lavoro, oltre a portare allo svuotamento dei luoghi.

I gruppi sociali vulnerabili, esclusi dal mercato del lavoro, si concentrano nei quartieri operai, luoghi che saranno oggetto di strategie di rigenerazione urbana. Gli interventi in queste aree hanno lo scopo di migliorare la qualità e le condizioni dell'ambiente costruito, attraverso lo sviluppo economico e l'inserimento occupazionale.In seguito alla dismissione industriale che porta a grandi quartieri svuotati dalle loro funzioni e in cui si affermano agglomerati di popolazioni emarginate, si sviluppa la rigenerazione urbana. La prima fase della rigenerazione urbana viene intesa come un semplice rinnovo delle aree degradate: lo scopo è quello di implementare nuove attività economiche ottenendo così il consenso dei cittadini. Nella fase successiva invece le città europee subiscono innovative trasformazioni che, rispetto al passato, non riguardano solo gli interventi di ricostruzione, di aggiunte o di demolizione, ma una profonda trasformazione relativa all'ambiente economico, sociale e culturale, i cui gli obiettivi sono di natura qualitativa.

Negli anni Novanta, le politiche urbane tradizionali, ormai obsolete, portano alla necessità di adottare un cambio di direzione. Sembra però che i teorici di quegli anni avessero dimenticato un elemento fondamentale: l'importanza dell'interazione tra le persone e l'ambiente. L'Unione Europea è promotrice della ricerca di un approccio intelligente e sostenibile, della stimolazione alla partecipazione attiva della cittadinanza e all'uso di nuove tecnologie, tutti concetti fortemente legati alla discussione sulle smart cities. In altri termini, inizia una nuova stagione di interventi urbani basati sulle teorie che caratterizzano le smart cities questo significa agire soprattutto sul tessuto sociale. Quindi la popolazione non è solo il fine della trasformazione ma è anche il mezzo attraverso cui ottenere i risultati sperati assieme agli strumenti tecnologici. I ricercatori del Senseable City Lab[16] hanno scoperto che gli individui che comunicano in modo digitale tendono anche ad incontrarsi fisicamente, quindi le persone necessitano il contatto con altre e vogliono vivere in città.

[16] Il MIT Senseable City Laboratory è un laboratorio digitale all'interno del Dipartimento di Studi Urbani e Pianificazione che si propone di indagare e anticipare come le tecnologie digitali stanno cambiando il modo in cui le persone vivono e le loro implicazioni a scala urbana. Laboratorio fondato dal direttore Carlo Ratti nel 2004 (Wikipedia).

La rivoluzione digitale ha avuto un profondo impatto sulle città, ma non le ha sostituite, in questo modo le città sono diventate uno spazio ibrido: rete e spazio si stanno intersecando sempre piú. Questo nuovo spazio urbano digitalmente integrato prende il nome di smart city. Il report della National Academy of Science (NAS)[17] del 2001 osserva che «*reti composte da migliaia di milioni di sensori potrebbero monitorare l'ambiente, un campo di battaglia o una fabbrica; spazi smart contenenti centinaia di superfici e dispositivi intelligenti potrebbero diventare un nuovo modo di accedere alle risorse informatiche*».
Qualsiasi azione o interazione all'interno dello spazio digitale crea dati, i quali possono essere utilizzati per affrontare diverse questioni che vanno dalle scienze sociali, alla matematica, all'economia oltre ad intensi problemi che riguardano l'intera umanità. Grazie ai dati, i cittadini sono riusciti ad acquisire nuovi modi di pensare, di operare e di mutare lo spazio pubblico, costituendo così un'ondata di innovazione dello spazio urbano. Attualmente però si riscontrano ancora molti interrogativi, dalla gestione dei dati, alla programmazione dell'architettura e alla progettazione dello spazio.
Le aree urbane globali stanno vivendo una nuova era come spazio di trasmissione e di abitazione condizionato da Internet, questo connubio tra bellezza ed efficienza ha affascinato per secoli gli urbanisti. Tale concetto non è variato: oltre ai progressi tecnologici, alle trasformazioni, restano invariate l'ambizione di migliorare e ottimizzare lo spazio urbano e la qualità della vita. Oggi nelle città del futuro oltre agli urbanisti e ai sociologi si riscontrano diversi protagonisti come i giganti dell'informatica, che adoperano strumenti attuali per perseguire lo stesso ideale, e le grandi imprese tecnologiche che permettono la creazione delle città intelligenti. La Smart City possiede il fascino a lungo subito dagli urbanisti: se ogni elemento di una città è progettato con coerenza, tutto l'insieme può funzionare alla perfezione. L'integrazione di ogni singola informazione immediatamente disponibile e del meccanismo urbano, consente alle società informatiche di potenziare la funzionalità urbana. Le Smart Cities oggi si basano sulla diffusione dell'informatica, che in tempo reale consentono connessioni, interazioni e comunicazioni.

[17] La National Academy of Science (NAS) fornisce consulenza indipendente e obiettiva al governo su questioni relative alla scienza e alla tecnologia (Wikipedia).

Smart city

capitolo 4

La città è un sistema complesso, composto da una fitta rete di collegamenti: la costante crescita demografica e le dinamiche di urbanizzazione alimentano una serie di problemi sociali, tecnici e organizzativi che minacciano profondamente la sostenibilità economica e ambientale dei territori.
Pertanto il concetto di *Smart City* sta diventando sempre più oggetto di studio all'interno del dibattito architettonico, un nuovo modello di sviluppo urbano, capace di realizzare una risposta credibile e intelligente per favorire una crescita socio-economica sostenibile.
La nascita delle città intelligenti è una conseguenza del processo di urbanizzazione che si sta riscontrando a livello globale e della crisi ambientale che si intreccia con esso, le quali hanno spinto i cittadini a richiedere al governo di migliorare la qualità della vita attraverso la progettazione innovativa e la ricostruzione degli spazi urbani (Deng T., 2021). Smart city quindi non è un obiettivo ma uno strumento per raggiungere un determinato obiettivo di sviluppo di una città, in grado di fornire risposte ai bisogni espressi dagli utenti della città, attraverso una crescente interrelazione tra persone, servizi, infrastrutture e ambiente costruito.
Il termine smart city è nato dall'unione di due concetti, *Smart Growth*[18] e *Intelligent City*[19] provenienti dalle teorie urbanistiche di fine anni '80 e inizio anni '90 negli Stati Uniti. Secondo Caragliu, Del Bo e Nijkamp, una città è smart quando: *«investimenti in capitale sociale e umano e in infrastrutture di comunicazione tradizionali (trasporti) e moderne (ICT) alimentano uno sviluppo economico sostenibile e un'alta qualità della vita, con un'accorta gestione delle risorse naturali, attraverso una governance partecipativa»* (2011)

[18] Smart Growth è una teoria urbanistica e dei trasporti che consiste nel concentrare la crescita nel centro di una città evitando episodi di dispersione urbana. (Wikipedia).

[19] Intelligent City (città intelligente) è un insieme di strategie di pianificazione urbanistica tese all'ottimizzazione e all'innovazione dei servizi pubblici così da mettere in relazione le infrastrutture con il capitale umano grazie all'impiego diffuso delle nuove tecnologie della comunicazione, della mobilità, dell'ambiente e dell'efficienza energetica, al fine di migliorare la qualità della vita. (Wikipedia).

a sinistra:
Business, innovazione e tecnologia. https://www.digital4.biz.

Tale espressione può essere considerata una *mobile technology of government*, termine coniato da Collier e Ong e che indica una serie di pratiche che passano da un contesto ad un altro (sociale, politico, economico e spaziale) in modo indifferente (2005). Nonostante i primi riferimenti al concetto di città intelligente risalgano ai primi anni 2000, è solo durante la crisi del 2008 che l'interesse dei policymaker si rafforza nei confronti della smart city. Smart City è quindi un concetto che si presta a diverse interpretazioni ma che assume un unico punto di vista per l'analisi.

Le comunità scientifiche europee definiscono una Smart City come l'adozione di nuove tecnologie per risolvere e gestire le numerose sfide legate allo sviluppo efficiente della città, come vivibilità, mobilità, governance, sostenibilità e crescita economica. Da una parte si introducono nello spazio urbano dispositivi e infrastrutture *Information and Communications Technology* (ICT)[20], dall'altra si fa leva su strumenti di governo nuovi, flessibili e maggiormente inclusivi.

Le tre dimensioni in cui si può classificare il concetto di Smart City sono quella tecnologica, umana e governance (fig 8).

- Il primo filone riguarda la dimensione tecnologica. L'obiettivo della città intelligente è creare un ambiente costruito in cui ogni cittadino possa ottenere qualsiasi servizio ovunque e in qualsiasi momento tramite qualsiasi dispositivo. La città è costituita da spazi virtuali e da spazi materiali, tuttavia è importante considerare la distanza fisica e la posizione. La città intelligente viene solitamente utilizzata per definire una città che ha la capacità di supportare l'apprendimento, lo sviluppo tecnologico, le procedure di innovazione e di ricerca e lo sviluppo di prodotti. Smart City integra tecnologie, sistemi, infrastrutture, servizi e capacità in una rete organica sufficientemente complessa da consentire lo sviluppo di proprietà emergenti. Il servizio integrativo di smart city deve affrontare sfide oltre che opportunità. Per la Smart City l'innovazione tecnologica è un mezzo, non un fine: è un facilitatore per la creazione di un nuovo tipo di ambiente innovativo, che richiede lo sviluppo completo ed equilibrato di capacità creative, istituzioni orientate all'innovazione, reti a banda larga e spazi

[20] Vedi ICT cap.4.1.1..

collaborativi virtuali.

- Il secondo filone enfatizza l'importanza del capitale umano e di altri aspetti, come la partecipazione dei cittadini e l'inclusione sociale, spesso ricollegandosi all'importanza di attrarre capitale umano creativo. Komninos nella sua definizione di città smart, per esempio, pone come prerequisiti all'intelligenza digitale altre due forme di intelligenza legate a conoscenza e creatività dei cittadini, nonché alla loro capacità di interagire e partecipare al processo decisionale sulla città (2008). Infine, Giffinger e Ratti sono tra coloro che sottolineano come le persone siano i veri attori del cambiamento, dettando le traiettorie di sviluppo dei servizi urbani e della città in generale, secondo un approccio bottom-up[21].
- Il terzo e ultimo filone, maggiormente diffuso, unisce diversi aspetti prestando particolare attenzione a una visione trasversale e integrata di smartness con l'obiettivo di migliorare la qualità non solo delle infrastrutture, ma anche e soprattutto della governance e della vita. Kanter e Litow in particolare propongono una visione della smart city come «sistema di
- sistemi»: non è sufficiente infondere le tecnologie in tutti i sottosistemi di una città, ma serve considerare la città come un sistema organico, dove i connettori principali sono le persone che la abitano. Inoltre sottolineano l'importanza della partecipazione dei cittadini nelle decisioni di governance affinché lo sviluppo di smart communities vada di pari passo con lo sviluppo delle infrastrutture digitali a tutti i livelli (2009).

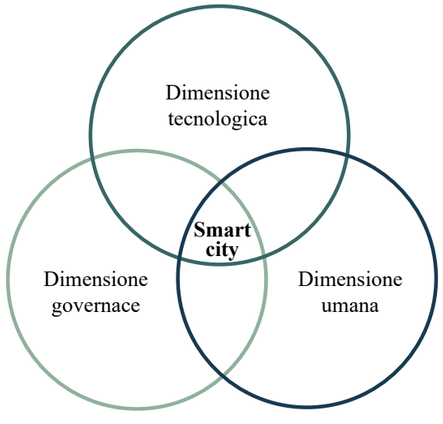


figura 8: Le tre dimensioni in cui si può classificare il concetto di smart city.
Elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo

[21] L'approccio bottom-up (dal basso verso l'alto) è una strategia che regola la gestione di conoscenze e la risoluzione di problemi. In generale, è un processo di sintesi da elementi base fino a un sistema complesso. (Treccani).

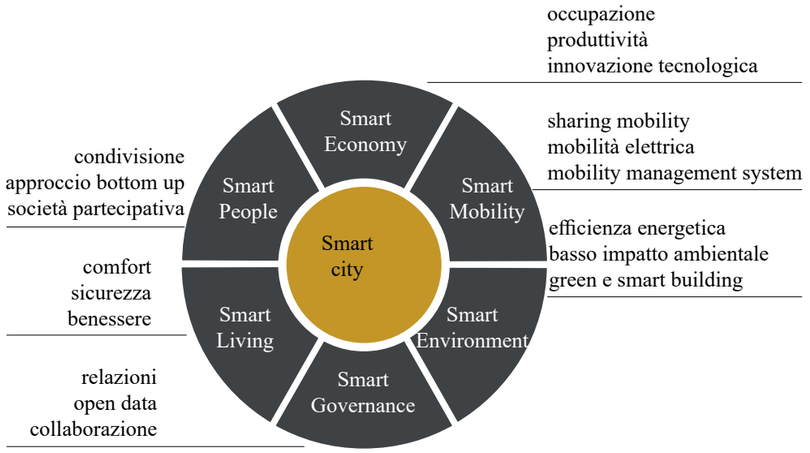


figura 9: Smart city 6 aspetti chaive.
Elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo

In Europa il primo studio sulle smart cities ha elaborato un'analisi sui casi europei, finalizzata ad analizzarli sulla base di sei dimensioni in cui si articola una smart city (fig.9).

1. *Smart Economy.*

   Un'economia è stata definita come la somma totale delle transazioni di prodotti e servizi tra due agenti in una regione, è costituita dal sistema economico, che comprende la produzione, la distribuzione o il commercio e il consumo di beni e servizi. In passato, si teorizzava che l'attività economica fosse limitata dalle risorse naturali, dal lavoro e dal capitale: questa visione ignora il valoredella tecnologia e creatività, in particolare quello che produce proprietà intellettuale, che altro non è che la Smart Economy. Le caratteristiche dell'economia intelligente includono un focus su un sistema educativo di alta qualità, ricerca scientifica finanziata con fondi pubblici, incentivi fiscali aziendali interessanti, agevolazioni fiscali e grandi infrastrutture, connessioni nazionali e internazionali di alta qualità, banda larga ed eccellenti servizi pubblici, inclusa l'assistenza sanitaria.
2. *Smart Mobility.*

   La mobilità intelligente supporta gli intervento sui cambiamenti climatici e sicurezza energetica, gestione del traffico in tempo reale, gestione

dei mezzi di trasporto, gestione dei parcheggi, gestione della flotta, gestione dell'uso delle biciclette, pagamento dei pedaggi, supporto nell'uso di veicoli elettrici, applicazioni di localizzazione e logistica, servizi di car sharing, ecc. I sistemi informatici integrati di giorno in giorno vengono sempre più utilizzati all'interno dei veicoli, ciò aiuta a migliorare il loro funzionamento, come il controllo automatico o il controllo assistito, i sistemi informatici per la determinazione della posizione consentono inoltre di monitorare a distanza i veicoli e le merci e di informare le parti interessate del loro programma e i sistemi di trasporto possono essere guidati automaticamente senza conducente. Inoltre i passeggeri e i conducenti hanno accesso a Internet mentre si trovano a bordo di veicoli intelligenti e non solo è possibile accedere ai dati del veicolo, ma anche monitorare i veicoli e caricare su Internet varie informazioni ambientali generate all'interno del veicolo da computer, sensori o telecamere incorporati.

3. *Smart Environment.*

   L'ambiente intelligente è definito come una regione del mondo reale ampiamente dotata di sensori, attuatori e componenti informatici. Grazie ai progressi tecnologici, sia nel software che nell'hardware, sono stati potenziati oggetti abilitati alla rete con capacità di rilevamento e attivazione in diversi ambienti, noti come ambienti intelligenti. Gli ambienti intelligenti, come le case intelligenti o i sistemi domestici, permettono di supportare le persone in molte delle loro attività ordinarie, consentendo complesse strategie di controllo per la gestione delle varie capacità di una casa o di un edificio: luci, porte, temperatura, potenza ed energia, musica, ecc. Tali ambienti, forniscono queste strategie di controllo per mezzo di computer, pannelli touch screen, dispositivi mobili, tablet o display interni.

4. *Smart People.*

   La città intelligente oltre ad essere definita dal ruolo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, può essere descritta attraverso il capitale umano e lo sviluppo urbano. L'inclusione dei cittadini è fondamentale affinché le ambizioni politiche e tecnologiche delle Smart City siano incrementate con successo. Un elemento fondamentale nello sviluppo delle città intelligenti è quindi l'inclusione di persone che perseguono e creano gli obiettivi smart. Ma il concetto di persone intelligenti comprende vari fattori come l'affinità con l'apprendimento permanente, la pluralità sociale ed etnica, la flessibilità, la creatività, il cosmopolitismo o l'apertura mentale e la partecipazione alla vita pubblica. I problemi associati agli agglomerati urbani possono essere risolti per mezzo della creatività, del capitale umano, della cooperazione tra le parti interessate e delle loro brillanti idee scientifiche: in poche parole, soluzioni intelligenti.

5. *Smart Living.*

   Le Smart Homes sono in grado di acquisire e applicare la conoscenza dei suoi abitanti e di ciò che li circonda per adattarsi agli ambienti e raggiungere gli obiettivi di comfort ed efficienza. Inizialmente, le case intelligenti erano case con la sola capacità di monitorare e regolare i sistemi ambientali come il riscaldamento e l'illuminazione, ma poi le tecnologie si sono sviluppate ulteriormente e qualsiasi componente elettrico all'interno della casa può essere incluso nel sistema. Una casa intelligente ha tutti gli elettrodomestici collegati a Home Area Networks (HAN) o Personal Area Network (PAN) e quindi a Internet per comunicare in modo pervasivo tra loro e con le persone che ci vivono. Con questa automazione, sarebbe come avere un assistente personale e quindi permettono l'aumento della comodità e della sicurezza.

   Le Smart Things rendono facile connettere le cose del mondo fisico a Internet. Sono più convenienti, sicure ed efficienti e possono rendere le cose più intelligenti, automatizzare, monitorare e controllare.

6. *Smart Governance.*

   La governance è l'esercizio dell'autorità politica, economica e amministrativa per gestire gli affari di una nazione. Sono i complessi meccanismi, processi e istituzioni attraverso i quali cittadini e gruppi articolano i loro interessi, esercitano i loro diritti e obblighi legali e mediano le loro differenze. Allo stesso modo la governance intelligente riguarda il futuro dei servizi pubblici nelle città. Il suo obiettivo principale riguarda una

maggiore efficienza, leadership della comunità, lavoro mobile, buone infrastrutture e miglioramento continuo attraverso l'innovazione. La governance intelligente riguarda fondamentalmente l'utilizzo della tecnologia per facilitare e supportare una migliore pianificazione e processo decisionale nelle città metropolitane o intelligenti, quindi migliorare i processi democratici e trasformare i modi in cui i servizi pubblici vengono forniti in modo efficace ed efficiente. Smart City governance include l'uso di dispositivi elettronici negli uffici governativi su larga scala come l'uso di telefoni e fax, stampanti, computer, laptop, server, sistemi di videoconferenza e componenti di rete inclusi i sistemi di sorveglianza, sistemi di tracciamento, smart card, sensori, attuatori e persino l'uso di televisione e radio per fornire informazioni e servizi relativi al governo ai cittadini nelle città.

Negli ultimi anni, il concetto Smart City ha inglobato nella disciplina del progetto urbano le tematiche legate alla sostenibilità, oltre a quelle legate all'inclusione sociale e alle nuove tecnologie. Questo concetto è stato adottato non solo nei paesi sviluppati ma anche nei paesi in via di sviluppo e mirava a promuovere uno sviluppo urbano sostenibile attraverso la gestione ottimale delle risorse, offrendo un'alta qualità della vita ai cittadini.

Una Smart City di successo dovrebbe in teoria essere in grado di rispondere ai dati in entrata proprio come un singolo organismo intelligente, fornendo a sé stesso in modo fluido ed efficiente esattamente ciò di cui la città e i suoi cittadini hanno bisogno, senza sprecare risorse e senza alcun errore umano.

Lo sviluppo e l'implementazione di sistemi tecnologici intelligenti nelle città di tutto il mondo è una tendenza inevitabile per aiutare le città a diventare più efficienti e sostenibili. Comunque la strada da percorrere rimane lunga, poiché devono essere costruite nuove infrastrutture e le innovazioni tecnologiche devono essere perfezionate prima che possano entrare in vigore. Tuttavia, ci sono già aspetti dei sistemi tecnologici intelligenti in atto e che funzionano con successo in molte città del mondo, come testimoniato dalle risposte di diversi paesi al Covid-19. La pandemia ha mostrato fino a che punto si è arrivati nella realizzazione della città intelligente e fino a che punto si dovrà ancora andare e ha rivelato che gran parte delle infrastrutture e delle capacità necessarie per le Smart City esistono già in tutto il mondo. Negli Stati Uniti, ad esempio, Chicago ha utilizzato dati sui cellulari per analizzare i modelli di viaggio e monitorare se le persone si stavano autoisolando e i governi di Cina, Corea del Sud e Medio Oriente hanno utilizzato i dati degli smartphone per tracciare le persone infette dal virus e mappare i loro contatti. Il Covid-19 ha costretto tutte le parti interessate a rivalutare l'approccio normale della gestione delle aree urbane e ha fornito un nuovo impulso per superare i punti critici.

Grazie alle più grandi aziende, organizzazioni e governi che lavorano insieme per investire e sviluppare città intelligenti, ci si può aspettare che le aree urbane continuino a evolversi e trasformarsi nel tempo.

4.1. Strumenti della Smart City

«Vivere in modo effettivo significa vivere con una quantità adeguata di informazione»
(Norbert Wiener, 1950):

Questo concetto descrive la smart city come un flusso di informazioni costante, in cui si integrano abitazioni e informatica, tale flusso è caratterizzato generalmente da tre componenti (fig. 10):

- la strumentazione: una serie di sensori presenti ovunque che rilevano le condizioni ambientali e i flussi umani e materiali;
- l'analisi: algoritmi che lavorano con una grande quantità di dati urbani per comprendere il presente e prevedere il futuro;
- gli attuatori: strumenti a controllo digitale capaci di intervenire sui dati in tempo reale.

Questi tre componenti collegati tra loro si occupano di gestire i sistemi digitali urbani, attraverso l'uso di protocolli per creare una città intelligente. Il primo è la base tecnologica, che include una massa critica di smartphone e sensori collegati da reti di comunicazione ad alta velocità, il secondo strato è costituito da applicazioni specifiche ed è qui che entrano in gioco i fornitori di tecnologia e gli sviluppatori di app, il terzo livello è utilizzato da città, da aziende e dal pubblico.

Molte applicazioni hanno successo solo se sono ampiamente adottate e riescono ad adattarsi, incoraggiano le persone a utilizzare il trasporto fuori orario, a cambiare percorso, a utilizzare meno energia e acqua e a farlo in momenti diversi della giornata e a ridurre le sollecitazioni sul sistema sanitario

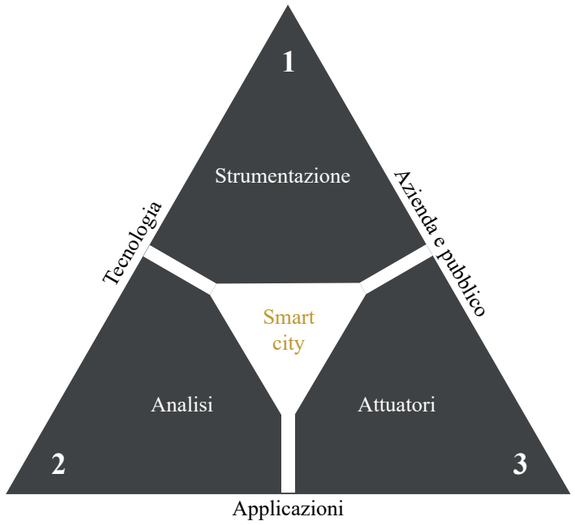


figura 10: Tre componenti che si occupano di gestire i sistemi digitali urbani. Elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo

A destra: different smart city solutions for different uses. https://www.adeunis.com

attraverso l'autoassistenza preventiva.

Pur essendo un sistema complesso, esso può offrire sicuramente più risorse rispetto alla città tradizionale perché non mette a disposizione solo servizi ma strumenti digitali che abilitano le persone ad essere attive, a confrontarsi e a collaborare. Questo sistema di hardware e software, a livello urbano, promuove la sostenibilità partendo dall'architettura basata sul risparmio delle risorse. La complessità dell'ecosistema tecnologico dei servizi della Smart City richiede un approccio che tenga conto delle differenti esigenze e che offra una risposta adeguata sia dal punto di vista dei costi che delle prestazioni.

I servizi della città intelligente come la gestione dell'acqua, l'energia, la mobilità e gli edifici si basano su un sistema centralizzato: una rete di sensori sparsi in tutta la città fornisce dati a questo centro di controllo centrale rilevando le attività nell'ambiente fisico. Nel centro di controllo i dati vengono elaborati e archiviati come informazioni significative, le quali sono condivise tra i vari dipartimenti del governo cittadino per un migliore coordinamento e per poter prendere decisioni basate sui dati.

Sta emergendo un'intelligenza spaziale in tempo reale che ha un impatto diretto sui servizi che le città offrono ai propri cittadini. Le Smart Cities con strumentazione e interconnessione di dispositivi mobili e sensori possono raccogliere e analizzare dati e migliorare la capacità di prevedere e gestire i flussi urbani, spingendo così avanti l'intelligenza della città.

Il concetto di Smart City si è evoluto nel tempo anche attraverso i recenti sviluppi tecnologici, che uniscono reti e sistemi di connessione immateriale, per aumentare la sostenibilità, la protezione e la gestione delle risorse naturali. Questo concetto denota l'effettiva integrazione dei sistemi fisici, digitali e umani nell'ambiente costruito per offrire un futuro sostenibile, prospero e inclusivo per i suoi cittadini.

Smart City è un nuovo modello, che applica la nuova generazione di tecnologie dell'informazione per facilitare la pianificazione, la costruzione e la gestione di servizi intelligenti, tra cui le ICT, le IoT, i Big Data, il GIS, il cloud computing, le SOA e il Digital Twin.

4.1.1. ICT

Le Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT, *Information and Communications Technology*) sono l'insieme dei metodi e delle tecniche utilizzate nella trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati e informazioni[22], che consentono la creazione e lo sviluppo di basi di conoscenza integrate, condivise e interoperabili; un'ottimizzazione centralizzata delle informazioni e una piattaforma per supportare la condivisione e la capitalizzazione della conoscenza.

Il termine ICT è apparso per la prima volta nel 1997 in un rapporto preparato da Dennis Stevenson per il governo del Regno Unito e comprende le tecnologie della comunicazione e dell'informazione. Inoltre il concetto ha definito l'uso attuale di Internet e degli smartphone, unendo le telecomunicazioni, i media, la tecnologia dei computer e l'elettronica. L'elemento fondamentale delle ICT è l'integrazione della scienza dell'informatica con altre discipline, tra cui le scienze sociali, economiche e giuridiche, creando così un percorso interdisciplinare.

Le ICT e loro suo potere nella trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati e informazioni stanno influenzando sempre più il metodo per trasformare l'industria dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (AEC). Esse hanno registrato una crescita drammatica e prodotto un'enorme quantità di dati, insieme alla convinzione che possano essere uno strumento importante per risolvere le sfide economiche, sociali e ambientali della città.

I governi e i comuni possono ricorrere alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione e ad altre tecnologie per costruire città più intelligenti e sostenibili per i propri cittadini. Una città intelligente e sostenibile è una città

[22] Wikipedia.

innovativa che utilizza le ICT una efficiente e migliore qualità della vita, soddisfacendo nel contempo i bisogni economici delle generazioni presenti e future, sociali, ambientali e culturali.

Sebbene non esistano ancora città in cui tutti i sistemi e i servizi urbani siano collegati, molte città si stanno già trasformando in città intelligenti e sostenibili. Si affidano alle ICT, ad esempio, per migliorare l'efficienza energetica e la gestione dei rifiuti, migliorare gli alloggi e l'assistenza sanitaria, ottimizzare il flusso del traffico e la sicurezza, rilevare la qualità dell'aria, allertare la polizia in caso di criminalità stradale e migliorare i sistemi idrici e sanitari.

Le ICT hanno il potenziale per accelerare il raggiungimento dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (OSS)[23], compreso l'undicesimo obiettivo che mira a realizzare città e comunità sostenibili.

Le tecnologie ICT offrono supporto in diversi ambiti, tra questi gli open data, i siti web, i Big Data, le app mobile e il cloud computing. Lo sviluppo ha consentito di ampliare i servizi e i prodotti, di abbattere i confini geografici e infine di incrementare le informazioni disponibili ai cittadini, che diventano così più attenti e informati. Queste tecnologie sono una risorsa basilare per le città digitali e sono utilizzate per migliori prestazioni, per aumentare l'interattività dei servizi urbani e migliorare la qualità della vita, oltre a ridurre il consumo di risorse e i costi.

Nel 2012 si è tenuta la conferenza sul tema Smart City, Smart Energy e ICT a Bruxelles, dove si è discusso di digital transformation, high tech e sostenibilità. Nella conferenza si sono discussi tre punti principali: l'ottimizzazione delle risorse, le telecomunicazioni e le tecnologie dall'impronta ecologica, le "*Green Ict*".

[23] Gli obiettivi di sviluppo sostenibile sono di 17 obiettivi interconnessi, definiti dalla ONU conosciuti anche come Agenda 2030, che riconosce lo stretto legame tra il benessere umano, la salute dei sistemi naturali e la presenza di sfide comuni per tutti i paesi.

Caratteristiche

La creazione di una città intelligente più che migliorare il vecchio sistema con la tecnologia semplicemente aggiungendo sensori, supervisione remota e controllo ai servizi essenziali della città, dovrebbe essere un cambiamento completo di un paradigma nella vita quotidiana quando si utilizzano nuove tecnologie, in particolare le nuove ICT che portano a risultati intelligenti.

I principali quattro pilastri comuni che costruiscono la città nella letteratura sono economia, governance, ambiente e società. Questi si riflettono attraverso tre dimensioni generali di una città: la dimensione tecnologica, che considera l'uso delle infrastrutture, soprattutto ICT, per trasformare e migliorare la qualità della vita e del lavoro in una città; la dimensione umana, che considera le persone, l'educazione, l'apprendimento e la conoscenza; la dimensione istituzionale, che tiene conto della governance e della politica.

Le infrastrutture sono un aspetto fondamentale di una città intelligente e sostenibile. Tradizionalmente, esistono due tipi di infrastrutture: fisiche, come edifici, strade, trasporti e centrali elettriche, e digitali, tra cui le tecnologie dell'informazione (IT) e infrastrutture di comunicazione. C'è anche un'infrastruttura di servizi, che fornisce servizi eseguiti sopra l'infrastruttura fisica, ad esempio, istruzione, assistenza sanitaria, e-government. L'infrastruttura digitale fornisce il collante che consente alla città intelligente e sostenibile di operare in modo efficiente e ottimale.

L'ICT ha un ruolo cruciale poiché funge da piattaforma per raccogliere e aggregare informazioni e dati dal campo per aiutare a consentire una migliore comprensione di come funziona la città in termini di consumo di risorse, servizi e stili di vita. Le ICT abilitano anche le seguenti funzioni, fondamentali per raggiungere gli obiettivi e massimizzare le prestazioni della Smart City:

- Condivisione di informazioni e conoscenze abilitata: tradizionalmente, a causa dell'inefficienza nella condivisione delle informazioni, una città potrebbe non essere pronta a risolvere un problema anche se è ben attrezzata per rispondere. Con informazioni immediate e accurate, le città possono ottenere informazioni sul problema e intraprendere azioni prima che si aggravi.
- Previsioni abilitate: prepararsi a fattori di stress come i disastri naturali richiede una notevole quantità di dati dedicati allo studio dei modelli, all'identificazione delle tendenze, al riconoscimento delle aree a rischio e alla previsione dei potenziali problemi. L'ICT fornisce e gestisce queste informazioni in modo più efficiente, in modo che la città possa migliorare la propria preparazione e capacità di risposta.
- Integrazione abilitata: è necessario garantire l'accesso a informazioni

tempestive e pertinenti, ad esempio sistemi di allerta precoce basati sulle ICT, al fine di comprendere meglio le vulnerabilità e i punti di forza della città.

Come affermato in precedenza, l'infrastruttura ICT svolge un ruolo fondamentale come nervo centrale della smart city, connettendo e coordinando tutte le diverse interazioni tra i pilastri e gli elementi infrastrutturali. Pertanto, la piattaforma ICT deve rispettare una serie di requisiti al fine di svolgere i compiti desiderati senza diventare causa di malfunzionamenti e vincoli delle attività quotidiane in città. I requisiti più importanti sono i seguenti:

- economicità: i sensori o i punti di misurazione, come le tecnologie di comunicazione di misurazione intelligente che verranno implementate su vasta scala, devono essere progettati per ridurre al minimo tali costi e fornire un valore eccellente. L'efficienza in termini di costi dell'infrastruttura di comunicazione dovrebbe coprire tutti gli aspetti;
- elevata affidabilità e lunga durata: le apparecchiature e i moduli di comunicazione possono essere collocati in ambienti diversi a seconda dell'applicazione. Prendendo l'esempio della rete intelligente, i contatori intelligenti e le tecnologie di comunicazione che li supportano dovrebbero essere in grado di rimanere online per 10, 15 o anche 20 anni senza richiedere la sostituzione o la manutenzione diretta dei componenti. Pertanto, le
- tecnologie di comunicazione e di misurazione devono essere altamente affidabili e progettate con specifiche di livello industriale per soddisfare condizioni ambientali estreme di urti, corrosione, temperatura, vibrazioni, umidità e interferenze con altre apparecchiature e macchine nell'ambiente di distribuzione;
- sicurezza della rete: quando i sistemi di comando e controllo a due vie sono incorporati nei sistemi di gestione dell'energia, è necessario affrontare diverse minacce alla sicurezza. In generale, deve essere garantita la riservatezza dei dati, che consente l'accesso ai dati solo ai soggetti
- autorizzati, l'integrità dei dati, che assicura che i dati non vengano manipolati, l'autenticità dei dati, che garantisce che i dati siano inviati da un'entità dedicata e la disponibilità dei dati, garantendo che i dati siano disponibili quando necessario;
- interoperabilità: i sistemi di comunicazione dovrebbero essere basati su protocolli di misurazione standard per garantire l'interoperabilità con le apparecchiature del fornitore di energia e/o le apparecchiature dei consumatori che cambiano per tutta la vita del dispositivo finale di rilevamento. La vera efficienza è il risultato dell'interoperabilità che consente ai dati di fluire liberamente attraverso varie tecnologie all'interno delle funzioni della città come l'illuminazione, i trasporti e l'infrastruttura, consentendo la comunicazione intelligente, pur mantenendo i protocolli di sicurezza.

Sembra abbastanza facile da implementare, ma non lo è. L'integrazione di vari dispositivi con diverse tecnologie con l'infrastruttura di comunicazione esistente è una delle maggiori sfide nello sviluppo di una città intelligente sostenibile ed efficiente. L'architettura delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione di una città intelligente ha 4 livelli:

1. Livello 1: rilevamento.

Il livello di rilevamento ha un insieme variegato di nodi IoT che sono distribuiti in un'area urbana. Un nodo IoT è un pacchetto che comprende sensori, microchip, alimentatore ed elementi di rete, i quali raccolgono dati su varie attività nell'ambiente fisico e sono classificati in 2 diverse categorie in base alle loro condizioni operative:

- i nodi vincolati che operano in un ambiente a basso consumo, hanno una bassa potenza di elaborazione e una bassa velocità di trasferimento dei dati;
- i nodi non vincolati che non hanno vincoli operativi in termini di consumo energetico, velocità di elaborazione e velocità di trasferimento dati.

Un nodo può agire come vincolato o non vincolato a seconda dell'ambiente operativo e delle condizioni. Ad esempio, un nodo del sensore di prossimità in un piccolo complesso di parcheggi per uffici può essere vincolato, mentre lo stesso nodo del sensore di prossimità in grandi complessi di parcheggio può essere non vincolato.

I nodi IoT con l'aiuto di sensori, rilevano le attività nell'ambiente circostante e inviano dati ai data center nel livello dati.

2. Livello 2: comunicazioni.

Poiché un gran numero di nodi IoT è distribuito in una città, la configurazione richiede una solida tecnologia di comunicazione che copra un'ampia area geografica e possa gestire un'enorme quantità di traffico dati.

Una singola tecnologia di comunicazione non è compatibile con i nodi vincolati e non vincolati. Per i nodi IoT non vincolati vengono utilizzate le tradizionali tecnologie di comunicazione, come WiFi, fibra ottica, ethernet, comunicazione powerline a banda larga e tecnologie di comunicazione mobile. Queste tecnologie di comunicazione hanno una maggiore affidabilità, un'elevata velocità di trasferimento e una bassa latenza.

3 Livello 3: Dati.

Questo è il livello di intelligenza dell'architettura delle Smart City. Una mega smart city può funzionare in modo efficace ed efficiente solo se i dati sulla città sono organizzati in modo sistematico. Per fare ciò, viene gestito separatamente un database con le seguenti informazioni:

- tutti i nodi IoT;
- tutti i reparti che controllano i nodi, ad esempio i nodi relativi alla gestione dell'acqua;
- i dati corrispondenti per ogni reparto.

Alla radice di questo livello ci sono i server di dati che elaborano i dati applicando diversi modelli statistici. Questi modelli includono:

- modelli predittivi, che funzionano analizzando sia i dati passati che quelli attuali e aiuta a prevedere il futuro;
- modelli descrittivi, che descrivono la relazione tra gli eventi del mondo reale e i fattori che ne sono responsabili;
- modelli decisionali, che prevedono l'esito di una decisione stabilendo la relazione tra gli elementi della decisione e i risultati previsti.

Queste previsioni aiutano il governo della città a prendere decisioni proattive e basate sui dati. Inoltre questo livello include anche i sistemi Enterprise Resource Planning (ERP) che controllano il flusso di dati tra diverse organizzazioni sotto il governo della città.

4 Livello 4: Servizi.

Questo livello funge da centro operativo interdipartimentale. Varie schede cittadine come la scheda dell'approvvigionamento idrico, la scheda dell'alimentazione elettrica, la scheda per il controllo dell'inquinamento, il dipartimento dei trasporti ecc. condividono le informazioni utilizzando portali web/applicazioni mobili che sono costruite su questo livello.

Questo livello non servirà solo i dipartimenti governativi condividendo le informazioni, ma anche il pubblico in generale che ha accesso a un sottoinsieme di tutti i dati e che può costruire servizi per migliorare le operazioni della città. Tutto il sistema di Smart City si basa sulle tecnologie, strumenti che permettono la realizzazione di soluzioni smart per i cittadini e per la città. Il processo è reso funzionante attraverso la trasmissione di dati e l'infrastruttura per la comunicazione. Le informazioni devono essere generate, inviate e ricevute in tempo reale dalle diverse componenti della città, perché ciò avvenga si necessita di una progettazione adeguata di ICT per consentire la flessibilità della rete. Grazie a queste tecnologie si possono comprendere i bisogni e i comportamenti dei cittadini con lo scopo di realizzare servizi che rispondono alle diverse esigenze diminuendo gli sprechi e rendendo la città sostenibile. Tuttavia, è importante che i professionisti abbiano tutti gli strumenti scientifici per il monitoraggio, l'ottimizzazione, l'elaborazione e il controllo delle infrastrutture urbane.

Pertanto si può affermare che le tecnologie tradizionali non riescono più a risolvere gli attuali problemi cittadini. Per questo motivo i concetti di ICT e Smart City sono un valore aggiunto per il futuro delle città.

4.1.2. IoT

Le Smart City per consentire un benessere economico, sociale e ambientale ai cittadini, utilizzano al meglio le tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni per rendere i loro servizi e la loro gestione più consapevole, interattiva ed efficiente.
La diffusione dell'informatica consente di supportare un ecosistema di comunicazione tra strumenti all'interno dello spazio fisico, quindi se ogni oggetto fosse dotato di una connessione digitale si potrebbe sviluppare una rete collegata al mondo fisico: da qui nasce la definizione di *Internet of Things* (IoT), o Internet delle cose. All'interno delle Smart City gli IoT sono fondamentali in quanto rappresentano l'evoluzione dell'Internet odierno in una rete di oggetti interconnessi, che, oltre ad interagire con gli oggetti reali, acquisisce informazioni da essi, e fornisce lo scambio di informazioni e la loro analisi. I dati vengono raccolti e valutati in tempo reali e convertite in conoscenze utili, questo consente di migliorare la gestione della città[24].
Gli IoT, creati in modo semplice, economico ed efficiente, raccolgono informazioni da varie fonti per testare e creare simulazioni sui processi urbani e anche sugli aspetti comportamentali dei propri cittadini. L'IoT è una rete di dispositivi che comunicano tra loro e forniscono dati agli utenti, che possono collegarsi a Internet e attraverso l'uso di sensori raccolgono dati. Con l'aumento delle tipologie di impianti capaci di collegarsi a Internet, l'IoT diventa più grande e il numero di dispositivi collegabili aumenta ogni giorno. Queste tecnologie permettono di raccogliere automaticamente i dati e trasmetterli a sistemi centrali: con questo metodo è possibile anticipare i risultati futuri. Le tecnologie IoT possono essere utilizzate anche per automatizzare gli

[24] Hammi, B., Khatoun, R., Zeadally, S., Fayad, A. and Khoukhi, L., 2018. *IoT technologiesfor smart cities. IET Networks*, pp.1-5.

impianti, i quali, attraverso l'uso di sensori intelligenti, possono regolare automaticamente le proprie operazioni e sono in grado di intervenire o di segnalare un'azione.
Alla base dell'utilizzo delle IoT c'è l'automatizzazione dei dati raccolti per consentirne l'elaborazione e prendere decisioni, in questo modo si possono migliorare diversi aspetti delle città, come la qualità della vita e i costi di gestione.

Caratteristiche

L'IoT è quindi una tecnologia molto importante per le Smart City perchè consente alle città di raccogliere dati per ottimizzare le operazioni e prendere decisioni. Può innovare diverse aree, tra cui:

- infrastrutture: le città intelligenti possono integrare alle loro infrastrutture sensori per migliorare la manutenzione, l'efficienza e consentire operazioni remote. Ad esempio installando timer e sensori di movimento all'illuminazione stradale si può programmare l'accensione;
- edifici: l'uso di tecnologie intelligenti permette alle città di gestire in remoto una serie di sistemi nell'edificio, come l'illuminazione, il riscaldamento e la climatizzazione;
- fornitura energetica: l'IoT migliora l'affidabilità, l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi elettrici e può aiutare all'individuazione di problemi, alla gestione di risorse e all'ottimizzazione della distribuzione;
- acqua: il sistema IoT permette agli operatori di individuare più rapidamente eventuali perdite, ridurre lo spreco ed evitare future interruzioni del servizio;
- trasporto e traffico: l'uso di tecnologie intelligenti permette di migliorare i sistemi pubblici di trasporto e di traffico, in quanto gli operatori possono vedere in ogni momento dove si trovano i mezzi e come stanno lavorando, e quindi intervenire prontamente ad incidenti stradali o altre emergenze[25].

Nella Smart City sono numerose le applicazioni che traggono vantaggio dalle IoT e queste possono essere raggruppate in mobilità urbana, cittadini e infrastrutture
Inoltre, l'infrastruttura IoT utilizza diversi domini applicativi specifici all'interno dell'assetto urbano, alcuni possono essere utilizzati a livello della progettazione urbana, dei servizi sanitari, della qualità dell'acqua e dell'aria, della sostenibilità, del turismo, della sicurezza e dell'utilizzo di energia. In questo periodo si sta affermando un modello nuovo di rilevamento, in cui oltre al solito paradigma comunemente legato alla raccolta dati attraverso sensori di piccola e media dimensione, le persone sono responsabili della raccolta e della condivisione di dati. Questo metodo dà l'opportunità di rilevare i dati in modo tempestivo e con un costo molto ridotto, e successivamente possono essere integrati con quelli provenienti da fonti diverse. All'interno della città, queste tecnologie svolgono attività di archiviazione e di elaborazione dati, ma soprattutto l'adattabilità li rendono essenziali per poter realizzare un confronto di tale quantità di dati. In sintesi, sono necessarie strumenti di intelligenza artificiale per convertire le informazioni in conoscenza, anche se il passaggio essenziale è la interpretazione dei dati. Infatti si tratta di un elemento fondamentale e molto delicato, in quanto all'interno delle analisi si possono riscontrare dati eterogenei, che vengono riportati in forma comprensibile per l'utenza finale: questo passo comporta una difficoltà notevole.

5G

Le tendenze IoT prevedono che, entro il 2025 in tutto il mondo, il numero di dispositivi connessi aumenterà ampliamente. L'incremento di oggetti interconnessi porta ad un numero di dati senza precedenti, i quali potranno essere utilizzati dalle città per prendere decisioni su progetti o cambiamenti. Questo concetto si può descrivere con il termine Massive IoT che indica appunto l'enorme numero di dispositivi IoT e sensori interconnessi tra loro. Per ottenere una visione in cui sono connessi milioni di dispositivi, lo standard IoT deve garantire e offrire capacità ed efficienza di rete sufficienti per connettere milioni di dispositivi, fornendo anche funzionalità avanzate, come una maggiore durata della batteria e un'area di copertura più ampia[26]. Per facilitare l'espansione di nuovi casi d'uso la rete 4G esistente è stata progettata principalmente per migliorare i servizi dei dati mobili, tuttavia soffre ancora di numerose limitazioni, che includono uno scarso supporto per le connessioni simultanee,

[25] Copadata.com. 2021. *Significato di Iot e IIot – (Industrial) Internet of Things.*

[26] Reply.com. 2021. *5G and smart cities: smarter solution for a hyperconnected future.*

un elevato consumo energetico e un prezzo per bit troppo alto. Si prevede che il 5G, presente già in alcune città, sbloccherà il potenziale dell'IoT e sarà una forza trainante per la città intelligente affrontando e superando questi problemi. La tecnologia 5G ha una serie di caratteristiche che avranno un impatto positivo sulle esperienze digitali e sulle città intelligenti. Oltre a una maggiore velocità di caricamento e scaricamento dati, garantisce tempi di latenza molto brevi, cioè comprime il tempo tra l'invio e la ricezione del segnale, e consente di connettere più dispositivi contemporaneamente. Grazie al 5G la velocità è meno di 10 millisecondi e può raggiungere anche 1 millisecondo, questa non peggiora neanche se sono connessi nello stesso istante migliaia di dispositivi. Pertanto, alta densità e bassa latenza insieme trasformeranno le città. Oggi infatti nei luoghi affollati la connessione può peggiorare, ma questo non succederà più con l'introduzione del 5G, che permetterà di avere numerose connessioni contemporaneamente. Non solo dispositivi come tablet, PC e smartphone, ma anche oggetti e sensori potranno raccogliere e scambiare informazioni. L'obiettivo è la semplicità, quindi un basso consumo energetico per un funzionamento più lungo e una maggiore copertura per permettere una connessione efficiente al grande numero di dispositivo IoT connessi. Con il 5G quindi l'IoT si potrà utilizzare non solo negli edifici domestici, ma anche in quelli pubblici e industriali. Per migliorare la qualità della vita, la smart city utilizza dati e tecnologia e questo permette un enorme risparmio, grazie ad esempio a veloci tempi di risposta alle emergenze, un'ottimizzazione del traffico e una riduzione dei costi sanitari. Queste sfide della città oggi sono affrontate da numerose iniziative a livello europeo, nazionale e regionale[27].

A destra: Smart city, nuovi trend: il cassonetto intelligente. Fotografia di Key4biz

[27] 2021. 5*G and smart cities: smarter solution for a hyperconnected future.*

4.1.3. Big Data

Molti governi hanno iniziato a utilizzare i *Big Data* per supportare lo sviluppo e la sostenibilità delle città intelligenti in tutto il mondo e ciò ha permesso alle città di mantenere standard, principi e requisiti attraverso la realizzazione delle principali caratteristiche della Smart City. Big data è un termine generico che indica una raccolta di dati grande, complessa e in rapida evoluzione che diventa difficile da elaborare utilizzando strumenti di gestione di database o applicazioni di elaborazione di dati tradizionali. Non si tratta di un concetto nuovo, ma è esistito in ogni epoca in cui gli strumenti per l'elaborazione dei dati sono stati ampliati portando ad aumentarne le dimensioni. Ci sono alcune storie su come i grandi set di dati abbiano portato allo sviluppo di nuovi hardware, software e metodi matematici nel corso della storia dell'informatica. Oggi si sta iniziando a sviluppare una risposta piuttosto diversa nel modo in cui potremmo utilizzare tali dati per una migliore comprensione del mondo che ci circonda. L'attuale ossessione per i big data è guidata non solo da questioni di dimensione, ma anche dai modi effettivi in cui vengono raccolti sempre più dati. La maggior parte di ciò che oggi chiamiamo Big Data viene prodotta automaticamente e da varie forme di sensori. È stato così da quando le prime tecnologie industriali sono state sviluppate utilizzando il monitoraggio continuo di compiti e attività di routine in forma analogica, successivamente le tecnologie elettriche hanno dato un notevole impulso a tale rilevamento attraverso varie macchine tra cui telefoni e computer. Ma è stata la miniaturizzazione digitale che ha davvero cambiato il gioco in quanto, per la prima volta, vediamo computer incorporati in ogni tipo

immaginabile di oggetto ed è questo che sta generando quantità di dati senza precedenti. Ciò che ha davvero stimolato l'ascesa dei Big Data è la raccolta di dati relativi ad attività in cui gli esseri umani sono coinvolti. Con 7 miliardi di persone sul pianeta, che accedono a circa 1,2 miliardi di personal computer, c'è un numero sempre maggiore di smartphone, i quali sono in crescita di circa il 30% l'anno. In effetti, le tecnologie dei sensori sono diventate onnipresenti consentendo così a chiunque di monitorare e raccogliere dati da oggetti che possono essere rilevati dai diversi dispositivi.

Indubbiamente, il principale punto di forza del concetto di big data è l'elevata influenza che avrà su numerosi aspetti di una Smart City e di conseguenza sulla vita delle persone. Una Smart City, in quanto «sistema di sistemi», può infatti generare grandi quantità di dati per permettere l'acquisizione, la cura, l'archiviazione, la ricerca, la condivisione, il trasferimento, l'analisi e la visualizzazione. I dati vengono generati da più fonti con conseguente formazione di ciò che è attualmente noto come Big Data. Le fonti sono ovunque: smartphone, computer, sensori ambientali, fotocamere, global positioning system (GPS) e persino persone. Varie applicazioni come siti di social media, immagini e video digitali, transazioni commerciali, applicazioni pubblicitarie, giochi e molti altri hanno contribuito ad accelerare la generazione di dati negli ultimi anni[28]. Le applicazioni per le città intelligenti generano enormi quantità di dati e i sistemi di big data memorizzeranno, elaboreranno ed estrarranno le informazioni in modo efficiente per migliorare i diversi servizi delle Smart City.

[28] SearchDataManagement. 2021. *What is Big Data and Why is it Important?*.

Caratteristiche

Quando si considerano le applicazioni Smart City basate sui Big Data, è necessario affrontare diversi requisiti che derivano dalle esigenze delle caratteristiche dei Big Data, tra questi:

- Gestione dei Big Data.

Per garantire un utilizzo corretto e utile di questi dati nelle applicazioni Smart City, è importante disporre di strumenti di gestione dei Big Data adeguati ed efficaci. La gestione dei Big Data include lo sviluppo e l'esecuzione di architetture, politiche, pratiche e procedure che gestiscono correttamente l'intero ciclo di vita dei dati durante il loro utilizzo nelle applicazioni smart city.

sono economia, governance, ambiente e società. Questi si riflettono attraverso

- Piattaforme di elaborazione di Big Data.

Le applicazioni di big data per le città intelligenti devono eseguire analisi dei dati che di solito richiedono enormi capacità di elaborazione, ciò porta alla necessità di piattaforme software e hardware affidabili. Le piattaforme software per le città intelligenti dovrebbero offrire capacità di calcolo ad alte prestazioni, per l'hardware dovrebbero essere stabili e affidabili per le diverse applicazioni ad alta intensità di dati in esecuzione, supportare l'elaborazione dei flussi e fornire alti livelli di resilienza ai guasti.

- Infrastruttura di rete intelligente.

La maggior parte delle applicazioni di Big Data per le città intelligenti richiedono reti intelligenti che collegano i loro componenti e che dovrebbero essere in grado di trasferire in modo efficiente i dati raccolti dalle loro fonti a dove vengono archiviati ed elaborati i big data e poi trasferire le risposte alle diverse entità che ne hanno bisogno.

- Algoritmi avanzati.

Gli algoritmi standard utilizzati nelle applicazioni normali potrebbero non essere sufficienti o sufficientemente efficienti per gestire applicazioni di Big Data a causa dei loro requisiti unici e della pressante necessità di elaborazione ad alta velocità. Per questo le applicazioni di big data per le città intelligenti dovranno implementare algoritmi avanzati e più sofisticati per gestire i dati in modo efficiente, i quali devono essere ottimizzati per gestire elevati volumi di dati, un'ampia varietà di tipi di dati, vincoli temporali sui processi decisionali e componenti distribuiti in varie località geografiche.

- Tecnologia a standard aperti.

Poiché le applicazioni per le Smart City dei Big Data coinvolgono sistemi e dati eterogenei su larga scala, è vantaggioso seguire uno standard aperto per la progettazione e l'implementazione di tali soluzioni. Ciò aggiungerà flessibilità per l'aggiornamento, la manutenzione e più funzionalità applicative per le città intelligenti.

- Sicurezza e privacy.

Dato che la maggior parte dei dati raccolti ed elaborati nelle applicazioni Smart City conterrà una qualche forma di informazioni sensibili o private, è importante garantire che tutti i componenti tecnologici e applicativi includano e mantengano livelli accettabili di meccanismi di sicurezza e privacy.

- Consapevolezza dei cittadini.
  I cittadini devono essere consapevoli di come utilizzare le soluzioni ICT per la Smart City in modo corretto e sicuro. La loro partecipazione attiva nel fornire informazioni relative ai diversi problemi che possono incontrare con applicazioni Smart City aiuterà a migliorare la qualità dei dati raccolti e a prendere decisioni più efficaci per migliorare i diversi componenti della città intelligente.
- Ruolo del governo.
  Gli enti di governo delle città intelligenti devono stabilire principi guida di apertura, trasparenza, partecipazione e collaborazione per tenere sotto controllo lo scambio e il flusso di Big Data[29].

I Big Data stanno sicuramente arricchendo le nostre esperienze su come funzionano le città e stanno offrendo molte nuove opportunità per l'interazione sociale e un processo decisionale più informato rispetto alla nostra conoscenza di come interagire al meglio nelle città. Se questi sviluppi saranno a nostro vantaggio collettivo o meno, è ancora da vedere perché ci sono ancora questioni di privacy e riservatezza da migliorare.

[29] Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N. and Al-Jaroodi, J., 2021. *Applications of big data to smart cities.*

4.1.4. GIS

Un progetto di Smart City richiede lo sviluppo di un sistema digitale in grado di gestire e visualizzare i dati geospaziali in un ambiente user-friendly. Il GIS (Geographic Information System) offre funzionalità avanzate e intuitive per progetti di Smart City: coordina le apparecchiature, la programmazione e le informazioni per catturare, supervisionare, sezionare e mostrare tutti i tipi di dati geologici di riferimento per una città. Oltre a consentire alle aree urbane di essere più efficienti, può assumere un ruolo fondamentale nel potenziare l'interfaccia del governo in cui i nativi possono condividere le lamentele, commentare lo stato della città e comprendere le misure di riparazione adottate dagli esperti. I sistemi informativi geografici sono diventati parte della nostra vita quotidiana. Una volta era solo uno strumento per pianificatori, architetti e ingegneri delle infrastrutture, ora il GIS è più diffuso che mai in un ampio spettro di utenti: i produttori agricoli si affidano alla tecnologia GIS per piantare, raccogliere e irrigare le colture, i meteorologi dipendono dal GIS per tracciare e localizzare tempeste potenzialmente dannose, mentre le squadre di soccorso lo usano per registrare i danni e le posizioni dell'impatto. Creato come un framework per catturare, archiviare, mettere in discussione, sezionare e mostrare informazioni geologiche di riferimento, con il progresso nel web e dell'innovazione portatile, il GIS è cresciuto come un termine sempre più ampio che porta alla crescita dell'apprendimento dell'urbanizzazione e delle associazioni tra gli individui. L'innovazione delle informazioni geografiche viene utilizzata come parte della revisione, della costruzione, dell'organizzazione e del coordinamento per l'accumulo, la gestione, l'amministrazione e l'introduzione di dati territoriali. Il motivo principale per cui le associazioni utilizzano il GIS è la loro capacità di

espandere le competenze. Questo framework infatti può essere utilizzato per aiutare a creare e trasmettere nuovi tipi di amministrazione, ad esempio, migliori dati di trasporto e amministrazione ai residenti. Quando viene implementata come parte di un più ampio quadro di città intelligenti, la tecnologia GIS protegge la sicurezza e il benessere dei cittadini garantendo al contempo la loro capacità di viaggiare, lavorare e godere delle necessità di base della qualità della vita.

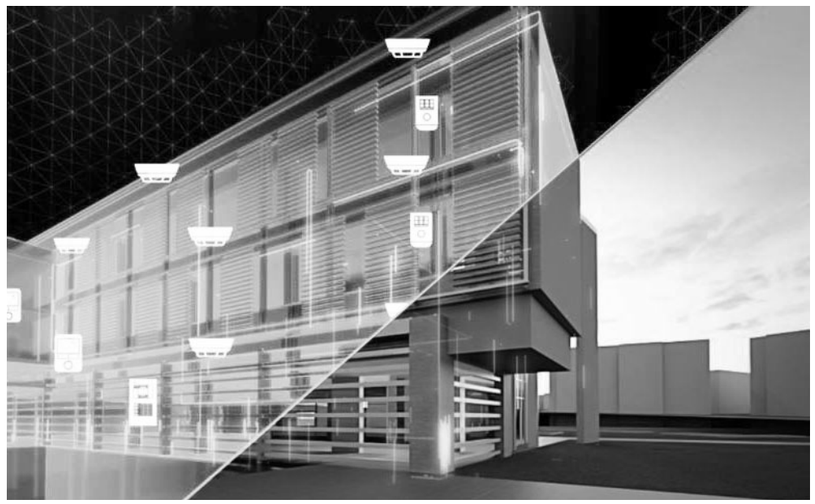
Caratteristiche

I quattro componenti principali di un GIS sono: apparecchiature, programmazione, informazioni e applicazioni. Si tratta di una procedura emergente che può essere adeguatamente utilizzata per rendere ideale l'utilizzo dei beni nella vita di tutti i giorni e di conseguenza è uno strumento fondamentale per trasformare le aree urbane in comunità urbane intelligenti. Il concetto di città intelligente mira infatti a sviluppare un sistema completo che utilizzi i dati geospaziali per migliorare la comprensione dei sistemi urbani complessi e per migliorare l'efficienza e la sicurezza di questi sistemi. Questi dati riguardano:

- l'ambiente urbano costruito come infrastrutture, edifici e spazi pubblici;
- l'ambiente naturale come biodiversità, spazi verdi, qualità dell'aria, suolo e acqua;
- servizi urbani come trasporti, rifiuti urbani, acqua, energia, salute e istruzione[30].

La tecnologia GIS è utilizzata dai cittadini per aiutare sé stessi, ma è anche utilizzata dai primi soccorritori per aiutare i cittadini. I dispositivi GPS di bordo forniscono indicazioni ai conducenti e aiutano anche le forze dell'ordine a localizzare i veicoli smarriti o rubati. I dati spaziali e la mappatura precisa eliminano la confusione sulla posizione di una chiamata e accelerano i tempi di risposta. Funzionalità come la modellazione 3D, combinate con le ricerche basate sulla posizione dei feed video in diretta dalle telecamere vicine alla scena, possono fornire una completa consapevolezza della situazione. Queste funzionalità forniscono un'anteprima visiva di una situazione pericolosa o di un edificio danneggiato, che protegge sia i soccorritori che le potenziali vittime.

Un GIS consente anche un'analisi in tempo reale di eventi e incidenti nel momento in cui si verificano. Questa analisi, se combinata con l'intelligenza artificiale, mostra alle agenzie come possono identificare e intervenire prima negli eventi dirompenti, riducendo gli impatti sui cittadini e sulle economie.
Inoltre nessuna città o contea può prosperare senza un'infrastruttura di trasporto affidabile: la tecnologia GIS può mitigare le interruzioni perché consente il monitoraggio in tempo reale di strade, linee ferroviarie e tunnel. Sensori e allarmi rilevano i problemi e avvisano le sale di controllo, mentre le telecamere vicino alla scena dell'incidente verificano l'incidente o la potenziale minaccia. L'acquisizione rapida della realtà consente ai team di investigazione sugli incidenti di eseguire rilievi in modo più rapido ed efficace, consentendo a strade, linee ferroviarie e tunnel di riaprire prima. Ciò riduce l'interruzione della circolazione, le difficoltà legate alla riprogrammazione di autobus o treni, ma anche la congestione, l'inquinamento e gli incidenti secondari[31].
Le applicazioni GIS e di localizzazione nella Smart City sono spesso guidate da requisiti giurisdizionali e finalità, e possono essere la base per molti servizi abilitati alla localizzazione che si basano sull'analisi, sulla visualizzazione e sulla diffusione dei risultati per il processo decisionale collaborativo.



A destra: il rapporto fra Bim e Digital Twin. https://www.01building.it

[30] Shahrour, I., 2018. *Use of GIS in Smart City Projects.*

[31] Baker, M., 2020. The importance of GIS technology within a smart city framework.

4.1.5. Cloud Computing

La visione della città intelligente implica l'arricchimento della qualità della vita, ottenendo informazioni sui dati dai sensori, dai dispositivi e dalle persone interconnesse. I problemi urbani continui come la sicurezza, la gestione dei rifiuti e il traffico possono essere affrontati utilizzando i dati per aumentare l'efficienza; ma per fare ciò, tutti i dati devono andare da qualche parte dove possono essere facilmente accessibili e utilizzati da tutte le parti interessate, sia private che governative. Per rispondere a questa esigenza, il servizio cloud aiuterà ad archiviare e ad accedere a dati e programmi su Internet anziché sul disco rigido del computer. Il cloud computing consente l'accesso alla rete, e può fornire risorse al fornitore di servizi in modo rapido. Questo strumento permette di conservare nel Cloud le informazioni consentendo così l'accesso dei dati da uno smartphone, un tablet, un laptop o un desktop, ovunque si disponga di una connessione Internet. Attualmente, il problema principale risiede nell'integrazione delle risorse informative della città che è un'isola di informazioni isolata. A causa della mancanza di standard comuni di costruzione del database, è così difficile integrare le informazioni disperse nei diversi dipartimenti e impossibile garantire Internet e la condivisione delle risorse intercomunicanti. Durante il processo di sviluppo della città, i massicci dati accumulati nei diversi dipartimenti non possono essere condivisi a causa della mancanza di meccanismi di condivisione e portano a ritardi e carenza di informazioni. Questo fenomeno sarà avverso all'integrazione delle risorse informative e alla costruzione di Smart City. Quindi, oltre agli standard unificati di costruzione delle informazioni, anche l'integrazione dei dati per i diversi dipartimenti urbani è importante per la costruzione di città intelligenti. Solo quando i due punti precedenti saranno soddisfatti, l'oggetto

della condivisione massiccia dei dati sarà raggiunto, e quindi tutti i cittadini, le imprese e i partecipanti alla città potranno ottenere il servizio intelligente.
Il fattore chiave per la costruzione della città intelligente è rendere l'infrastruttura di comunicazione e informazione più perfetta, costruire una piattaforma di condivisione delle informazioni e far sì che tutti i partecipanti alle attività della città ricevano servizi di convenienza più efficienti e più intelligenti dalla costruzione della città intelligente e dal relativo sistema. Un sistema di Smart City di successo dovrebbe avere un cloud di informazioni sulla città, in cui tutti i relativi servizi della città dovrebbero funzionare nella piattaforma cloud unificata e tutte le risorse potrebbero essere condivise tra le diverse parti del sistema e fornire ai clienti un servizio intelligente mediante la costruzione di tecnologia di virtualizzazione. Quindi un sistema Smart City basato sul cloud computing dovrebbe avere una piattaforma in grado di integrare tutte le risorse e rendere le risorse condivise tra il sistema, e quindi realizzare l'interoperabilità[32].
Un sistema smart city dovrebbe essere composto da infrastrutture cloud, platform cloud e application Cloud, corrispondenti rispettivamente all'infrastruttura, alla piattaforma e al software. Essendo il livello di risorse più basso, il cloud dell'infrastruttura fornisce le risorse fisiche di base necessarie, inclusi server, rete, dispositivi di archiviazione per soddisfare la domanda di informazioni. L'infrastruttura cloud è la base per tutti i servizi e le fonti di informazioni. Il pool di risorse dell'infrastruttura Cloud è costruito dalla piattaforma di virtualizzazione e redatto da tutte le agenzie di regolamentazione del cloud privato. Alla fine, si ottiene l'obiettivo per la standardizzazione e la collaborazione. Situato tra il cloud dell'infrastruttura e il cloud delle applicazioni, il cloud della piattaforma è il livello centrale e il fattore chiave per la condivisione delle informazioni. La funzione del livello della piattaforma è gestire le risorse Cloud regionali e integrare le risorse dati dall'infrastruttura cloud tramite le modalità di raccolta e commutazione dei dati. Dopo essere state integrate, le risorse devono essere rielaborate: è necessario eseguire numerose attività applicative e quindi le risorse possono essere utilizzate in modo efficiente e sicuro. Il Cloud delle applicazioni si trova al livello più alto dell'intero framework cloud ed è il livello di implementazione per la condivisione delle informazioni. La funzione principale del cloud delle applicazioni è fornire una piattaforma di implementazione. In questo livello, possiamo sviluppare tutti i tipi di Cloud di affari governativi per soddisfare i requisiti dei partecipanti alle attività della città.

[32] Chaohua, l., 2014. *The framework of smart city based on cloud computing. 10th ed. jiangsu: bio technology,* pp.11646-11647.

Caratteristiche

Il fattore più importante dal punto di vista gestionale del modello di cloud computing sono le sue caratteristiche essenziali:

- Self-service su richiesta.
  Il consumatore accede alle capacità di elaborazione, ad esempio l'archiviazione di rete e l'ora del server, anche in modo automatico senza la richiesta di interazione umana.
- Ampio accesso alla rete.
  Le funzionalità sono disponibili sulla rete e accessibili tramite meccanismi standard che promuovono l'uso da piattaforme eterogenee (telefoni, cellulari, tablet, laptop e workstation).
- Raggruppamento di risorse.
  Le risorse informatiche comprendono l'elaborazione, l'archiviazione, la larghezza e la memoria di banda della rete.
- Elasticità rapida.
  In alcuni casi, le funzioni vengono fornite in modo elastico.
- Servizio misurato.
  In modo controllato i sistemi cloud utilizzano le risorse sfruttando la misurazione della capacità in modo adeguato al tipo di servizio. L'utilizzo delle risorse può essere controllato, monitorato e segnalato[33].

Si riscontrano tre modelli di servizio:

- Software as a Service (SaaS).
  La capacità del consumatore è di utilizzare le applicazioni del provider in esecuzione su un'infrastruttura cloud e accessibili da vari dispositivi.

[33] Katarzyna Nowicka, *Smart City Logistics on Cloud Computing Model, Procedia - Social and Behavioral Sciences,* Volume 151, 2014, Pages 266-281

- Platform as a Service (Paa).
  La capacità fornita al consumatore è di distribuire sull'infrastruttura cloud applicazioni create o acquisite dal consumatore create dal provider.
- Infrastructure as a Service (IaaS).
  La capacità fornita al consumatore consiste nell'elaborazione e archiviazione di risorse informatiche che include applicazioni e sistemi operativi.

La tecnologia cloud consente di distinguere cinque livelli di fruizione del servizio:

- il livello di acquisizione e di analisi dei dati viene utilizzato per accedere ai dati ambientali da varie fonti, inclusi archivi di database remoti, reti di sensori e osservazioni dei cittadini, ad esempio utilizzando smartphone, nell'ambiente cloud. Questo livello garantisce la qualità dei dati acquisiti e identifica la necessità di organizzazione e pulizia dei dati;
- il livello tematico classifica i dati acquisiti in categorie tematiche specifiche per l'applicazione ed esegue l'organizzazione dei dati e aggiorna i cataloghi di dati/servizi per un ulteriore utilizzo;
- il livello di composizione del servizio è necessario per progettare flussi di lavoro, identificare le origini dati e collegare i componenti di elaborazione necessari per passare i flussi di lavoro, garantendo che venga mantenuta l'origine dei dati e dei processi specifici che possono essere utilizzati per l'analisi da diversi sistemi esperti nel livello dell'applicazione;
- il livello di servizio dell'applicazione utilizza i risultati del livello di composizione del servizio in strumenti specifici del dominio dell'applicazione come simulazioni e mappe visive per eseguire analisi contestuali per il processo decisionale;
- il livello di gestione e integrazione viene utilizzato per automatizzare il flusso di dati e informazioni filtrati tra i livelli orizzontali. Assicura che gli output elaborati da un livello all'altro siano contestualmente correlati e sintatticamente corretti. Mira inoltre a gestire le modifiche che si verificano a livelli diversi e a ridurre la quantità di dati a cui l'architettura a livelli richiede un sovraccarico di gestione;
- il livello di sicurezza garantisce l'autenticazione, l'autorizzazione e il controllo necessari per l'utilizzo di dati e servizi da parte degli utenti corretti. Inoltre, garantisce la personalizzazione e la profilazione sicure degli utenti finali per l'elaborazione e il recupero di informazioni contestuali da un ambiente Cloud

Il cloud computing ha quattro modelli di distribuzione:

- Cloud privato.
  L'infrastruttura Cloud è fornita per l'uso esclusivo da parte di una singola organizzazione.
- Cloud di comunità.
  L'infrastruttura Cloud èprevisto per l'uso esclusivo da una specifica comunità di consumatori da organizzazioni.
- Cloud pubblico.
  L'infrastruttura cloud è predisposta per l'uso aperto da parte del pubblico in generale. Può essere di proprietà, gestito da un'organizzazione aziendale, accademica o governativa.
- Cloud ibrido.
  L'infrastruttura cloud è una composizione di due o più infrastrutture cloud distinte private, comunitarie o pubbliche che rimangono entità uniche, ma sono legate insieme da una tecnologia standardizzata.

Il modello di Cloud computing offre un'opportunità unica di progettare l'infrastruttura logistica della città in modo che sia facilmente adattabile alle mutevoli esigenze. Per cogliere questa opportunità è estremamente importante standardizzare infrastrutture, piattaforme e applicazioni necessarie per fornire la massima efficienza dai sistemi e dalle altre risorse disponibili. La standardizzazione accelera la diffusione della tecnologia aiutando a gestire la città in modo sostenibile tenendo presente l'impatto olistico delle decisioni prese su diverse dimensioni e sistemi nelle attività delle città. Il loud computing sarà un potente abilitatore di iniziative sia per la città digitale che per la società digitale perché renderà disponibile un'enorme potenza di elaborazione e archiviazione e applicazioni sofisticate a chiunque: un

individuo, una piccola impresa, organizzazioni non governative, autorità locali o un grande governo metropolitano.

Man mano che i servizi di Cloud computing diventeranno più maturi e affidabili, a breve termine ridurranno la soglia di finanziamento e le conoscenze tecniche necessarie per implementare nuove applicazioni. Il modello di Cloud computing consente ai governi di realizzare vantaggi finanziari, di erogazione dei servizi e operativi. Aiuta i governi a diventare "più intelligenti" raccogliendo dati sull'ambiente di una città, comunicando informazioni essenziali con altri enti governativi e correlando gli eventi situazionali con i dati storici.

Utilizzando il modello di Cloud computing nel sistema di gestione urbano, i servizi di gestione, sviluppo e infrastruttura delle città possono ottenere:

- riduzione del costo totale dei servizi erogati ai cittadini;
- più agilità, flessibilità ed elasticità, reazione rapida ed economica a eventi e cambiamenti meno prevedibili;
- requisiti del cliente, cittadini e stakeholders;
- riduzione del rischio, servizi accessibili a livello globale, implementazione facile e veloce;
- forte sostegno allo sviluppo sostenibile.

Lo sviluppo della tecnologia del cloud computing ha notevolmente migliorato la capacità di Internet di fornire servizi. L'applicazione del Cloud computing nelle città intelligenti può integrare efficacemente le risorse informatiche dei centri urbani e risolvere il problema della città isolata dalle informazioni. L'applicazione del cloud computing nei settori della medicina, del trasporto e della logistica migliorerà l'efficienza di utilizzo delle informazioni di tutti i tipi di attività cittadine e offrirà una vita comoda per le persone.

4.1.6. SOA

Al fine di promuovere e mantenere l'organizzazione, l'attrattività, la sostenibilità e la prosperità della città, le S*ervice-Oriented Architecture* (SOA) sono utilizzate per integrare e gestire i servizi cittadini attraverso un framework standard che ha la capacità di sviluppare, implementare e gestire le funzioni che supportano i componenti dell'infrastruttura cittadina.

Il framework SOA ideale dovrebbe supportare le capacità necessarie per integrare e gestire efficacemente le risorse della città ed è facilmente modificabile alla luce dei cambiamenti del paesaggio urbano insieme alla rapida evoluzione della tecnologia. Il framework fornirà anche flessibilità informatica per rispondere alle sfide aziendali della città e ai continui cambiamenti e sarà composto dalla seguente struttura:

- livello di servizi orientato all'utente;
- livello orientato all'applicazione;
- livello di servizio di sicurezza;
- livello dei servizi dati;
- livello dell'infrastruttura informativa per i sistemi urbani[34].

Il framework SOA inoltre consentirà il monitoraggio continuo dei sistemi cittadini per includere le reti di servizi, irrigazione, comunicazioni e fognature, fornirà ai pianificatori urbani un'adeguata rappresentazione geografica della città che può essere utilizzata come strumento per il processo decisionale che produrrà risultati di efficienza a lungo termine e riduzione dei costi.

Ci sono sei principi chiave che caratterizzano l'ampio concetto di Service-Oriented Architecture: valore aziendale, obiettivi strategici, interoperabilità intrinseca, servizi condivisi, flessibilità e raffinatezza evolutiva. Ciascuno di questi valori fondamentali può essere visto su un continuum dal vecchio

[34] Elhoseny, Hisham & Elhoseny, Mohamed & Abdelrazek, Samir & El-Bakry, Hazem & Riad, Alaa el-din. (2016). *Utilizing Service Oriented Architecture (SOA) in Smart Cities.* p.80-81.

formato di calcolo distribuito all'architettura orientata ai servizi.

In ciascuno degli elementi costitutivi l'architettura orientata ai servizi ci sono tre ruoli:

- fornitore di servizi, lavora in collaborazione con il broker, discutendo il perché e il come dei servizi offerti, come sicurezza, disponibilità, cosa addebitare ecc.;
- broker o mediatore di servizi, mette a disposizione le informazioni relative al servizio;
- richiedente di servizi, individua le voci nel registro del broker e quindi le associa al fornitore del servizio[35].

Quando si tratta di implementare un'architettura orientata ai servizi, è possibile utilizzare un'ampia gamma di tecnologie, a seconda dell'obiettivo finale e di ciò che si sta cercando di realizzare. In genere, è implementata con servizi web, che rende i blocchi di costruzione funzionali accessibili tramite protocolli internet standard. Un esempio di servizio web standard è *Simple Object Access Protocol* (SOAP), una specifica del protocollo di messaggistica per lo scambio di informazioni strutturate nell'implementazione di servizi web nelle reti di computer. Sebbene inizialmente SOAP non sia stato ben accolto, dal 2003 ha guadagnato più popolarità e sta diventando più ampiamente utilizzato e accettato.

La sincronizzazione è l'obiettivo e la chiave per l'integrazione di Smart City attraverso implementazioni SOA. I grandi centri urbani densamente popolati possono essere estremamente complessi con problemi relativi ai servizi come la logistica dei trasporti e la gestione dei rifiuti. La SOA può essere utilizzata per interconnettere i sottosistemi della città, per ottenere analisi olistiche e il collegamento di una diversità di servizi in una tipica iniziativa di Smart City.

[35] Medium. 2019. *What Is Service-Oriented Architecture?*.

Caratteristiche

Ci sono molti vantaggi nell'architettura orientata ai servizi, specialmente in un'azienda basata sui servizi web. Si utilizza l'architettura orientata ai servizi:

- Per creare un codice riutilizzabile.

Questo non solo riduce il tempo impiegato nel processo di sviluppo, ma non c'è motivo di reinventare la ruota dei codici ogni volta che è necessario creare un nuovo servizio o processo. L'architettura orientata ai servizi consente inoltre l'utilizzo di più linguaggi di codifica perché tutto viene eseguito tramite un'interfaccia centrale.

- Per promuovere l'interazione.
  Con l'architettura orientata ai servizi viene messa in atto una forma standard di comunicazione che consente ai vari sistemi e piattaforme di funzionare indipendentemente l'uno dall'altro.
- Per la scalabilità.
  È importante essere in grado di ridimensionare un'azienda per soddisfare le esigenze del cliente. L'utilizzo dell'architettura orientata ai servizi riduce l'interazione cliente-servizio, consentendo una maggiore scalabilità.
- Per ridurre i costi.
  Con SOA, è possibile ridurre i costi pur mantenendo il livello di output desiderato. L'utilizzo dell'architettura orientata ai servizi consente alle aziende di limitare la quantità di analisi richieste durante lo sviluppo di soluzioni personalizzate.

L'architettura orientata ai servizi può essere un po' difficile da decifrare, ma può fornire numerosi vantaggi. Una SOA opportunamente progettata sosterrà gli obiettivi che si riflettono nella governance dei servizi per la Smart City e si dimostrerà ideale per dimensioni e capacità.

4.1.7. Digital Twin

Le tecnologie digitali e le loro applicazioni sono di grande importanza per i processi che collegano la conoscenza formale e razionale per una governance più intelligente e sostenibile delle città che coinvolge i cittadini, supportando un processo di pianificazione urbana intelligente e democratica. In questo contesto, la modellazione e la visualizzazione di processi e dati complessi, inclusa la partecipazione di gruppi emarginati, sono essenziali.

Nella pianificazione urbana, c'è bisogno di approcci che siano in grado di far fronte non solo alla complessità urbana, ma che consentano anche processi partecipativi e collaborativi per responsabilizzare i cittadini, tra questi troviamo gli *Urban Digital Twins*, che hanno la capacità di affrontare sfide complesse per le città.

Il Digital Twin esiste da decenni, soprattutto nel campo dell'ingegneria dei processi industriali e la loro implementazione per le città è stata discussa solo di recente con l'avvento delle tecnologie digitali. Questa tecnologia sta cambiando la maggior parte dei settori della società, fornendo il modello più avanzato per far interagire il mondo fisico e quello digitale. Naturalmente questo vale anche per il settore scientifico, e in particolare per quelle discipline che sono impegnate nella comprensione e nell'affrontare gli effetti del cambiamento globale[36]. Il Digital Twin è una rappresentazione digitale di oggetti materiali o immateriali dal mondo reale, consente uno scambio di dati completo e può contenere modelli, simulazioni e algoritmi che descrivono la loro controparte fisica e le sue caratteristiche e comportamenti nel mondo reale. Grazie al crescente sviluppo dei Digital Twins, per la prima volta, è possibile immaginare una replica digitale di importanti fenomeni e processi naturali e sociali, cercando di anticiparne il comportamento[37].

[36] Dembski, F., Wössner, U. and Letzgus, M., 2019. The Digital Twin Tackling Urban Challenges with Models, Spatial Analysis and Numerical Simulations in Immersive Virtual Environments. Blucher Design Proceedings, pp.795-796.

[37] Kaur, M., Mishra, V. and Maheshwari, P., 2019. The Convergence of Digital Twin, IoT, and Machine Learning: Transforming Data into Action. Internet of Things, pp.4-6.

«*Se l'Internet of Thing è una tecnologia dirompente che viene applicata a tutti i settori e servizi e porta cambiamenti radicali nella vita umana, il Digital Twin integrerà e interagirà tra il mondo reale e il mondo virtuale basato sull'Internet of Things. Per questo motivo, il Digital Twin può essere riconosciuto come dimension bridging technology in cui si stabilisce un collegamento tra il mondo reale e il mondo virtuale*» (ISO/IEC JTC 1, 2019)

Esistono diverse definizioni per il concetto e i sistemi di Digital Twin, derivanti dai diversi settori e discipline che li hanno utilizzati.

La filosofia dei digital twins consiste nel disaccoppiare un sistema digitale dalla sua entità fisica, rendendo più facile cambiarne una senza cambiare l'altra. Consente inoltre di utilizzare procedure avanzate di modellazione data-driven al fine di generare quelle intuizioni che non potrebbero essere effettuate utilizzando i modelli di osservazione tradizionali.

Le connessioni tra le due entità sono rappresentate dai dati che fluiscono dalla rappresentazione fisica alla rappresentazione digitale e dall'informazione che viene generata da questa rappresentazione all'ambiente fisico. Le informazioni specifiche generate dai gemelli digitali sono guidate dai casi d'uso. Ad esempio, un gemello digitale può essere utilizzato per il monitoraggio, la diagnostica e la prognostica per ottimizzare le prestazioni e gli utilizzi di processi ed entità. I dati sensoriali possono essere combinati con dati storici, competenze umane e apprendimento simulato per migliorare l'esito della prognosi.

Per migliorare la percezione della vita reale, i digital twins possono essere implementati nelle realtà virtuali (VR)[38]. Un digital twin non è una copia esatta, in quanto i modelli hanno sempre un certo livello di astrazione e rappresentano solo la realtà fisica con un margine di errore. L'utilizzo di un gemello digitale in VR non è solo un modo nuovo per i processi di pianificazione collaborativa, ma consente anche ai partecipanti con background diversi di raggiungere un accordo. Questo sistema informerà pianificatori e progettisti urbani nella comprensione degli impatti del cambiamento urbano previsto, consentendo anche ai cittadini di avere voce e opportunità di influenzare le decisioni pubbliche per città intelligenti e sostenibili già in una fase iniziale.

A destra: Replica digitale di un manufatto esistente è ottenuta tramite tecniche di rilievo digitale e contiene tutte le informazioni necessarie alla sua gestione e manutenzione. https://www.01building.it/

[38] Dembski, Fabian, Uwe Wössner, Mike Letzgus, Michael Ruddat, and Claudia Yamu. 2020. "Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany" Sustainability 12, p.2.

Il gemello digitale urbano ha permesso di ottenere una migliore comprensione delle potenziali soluzioni per le sfide urbane che coinvolgono il processo decisionale pubblico. Ciò apre il potenziale per applicare tali gemelli digitali ad altre città di piccole e medie dimensioni, in base alla rispettiva situazione e ai problemi. Esperti e cittadini potrebbero interagire in modo più efficiente ed efficace attraverso una migliore presentazione delle informazioni complesse nei processi di pianificazione urbana. Queste informazioni ci consentono di adattare il gemello digitale urbano alle esigenze dei cittadini al fine di fornire un modello di facile comprensione per la crescente complessità di città e paesi.

Incorporando l'Urban Digital Twin nel dibattito sulla trasformazione della città intelligente, non sorprende che solo pochi abbiano avuto un successo singolare.

I progetti di città intelligenti richiedono due competenze cruciali:

- la comprensione dell'impatto dell'implementazione delle tecnologie digitali nel contesto dei sistemi urbani;
- l'integrazione di soluzioni.

Se queste competenze non vengono prese in considerazione, il grande potenziale delle tecnologie e delle soluzioni digitali rimane inutilizzato. Il gemello digitale urbano, abbraccia entrambi: ha il potenziale per consentire ai responsabili delle decisioni di comprendere il valore aggiunto e le limitazioni delle tecnologie digitali e applica le tecnologie digitali come approccio olistico orientato alla soluzione.

I gemelli digitali urbani ci consentono di aprire la strada allo sviluppo urbano sostenibile a tutte le scale, tuttavia, per sua natura di modello, il gemello digitale urbano non include tutte le informazioni dal mondo fisico e dalla vita reale. L'obiettivo è raggiungere somiglianze con il mondo reale a un livello di dettaglio sufficientemente accurato per affrontare problemi complessi.

Un esempio è il National Digital Twin Program (NDTp) del Regno Unito, del 2018, che è un progetto ambizioso, in quanto a scala nazionale, realizzato per creare un ecosistema di digital twin connessi, ottenere risultati migliori per tutte le parti interessate e apportare benefici all'ambiente utilizzando con maggiore efficienza le risorse [39].

[39] El Hajj, p. and Brimson, H., n.d. National Digital Twin Programme | Centre for Digital Built Britain.

I Digital Twin stanno cambiando il modo in cui vengono pensate le tecnologie come IoT, intelligenza artificiale e analisi dei Big Data. Queste tecnologie innovative vengono utilizzate per creare rappresentazioni virtuali di processi fisici e comprenderne il comportamento anticipando le loro possibili reazioni controparte. Un Digital Twin si autoadatta e si ottimizza con l'aiuto dei dati ad eventi simulati. I Digital Twin però rappresentano solo un insieme limitato di variabili e processi e raramente includono uno qualsiasi dei processi che determinano il funzionamento di una città in termini di funzioni sociali ed economiche. Si basa su un approccio multidisciplinare svolgendo un ruolo importante per far progredire lo stato dell'arte scientifico. Gli esperti del dominio fisico devono collaborare con ingegneri, scienziati informatici ed esperti di processo per sviluppare un gemello digitale efficace.

Gli urban Digital Twin sono particolarmente importanti per contribuire alla strategia del Green Deal europeo[40], dove gli obiettivi chiave sono, ad esempio, l'efficienza energetica dell'ambiente costruito, ovvero la più importante strategia di decarbonizzazione, e l'adattamento della nostra società ed economia al cambiamento climatico, come la resilienza dei centri urbani, l'adattamento della produzione agricola e la riduzione del rischio ai pericoli naturali.

Oggi, la tecnologia Digital Twin è comunemente utilizzata come strumento chiave per l'implementazione del concetto Digital Earth, ovvero una rappresentazione virtuale completa del pianeta (ISDE, 2020). Diversi progetti e iniziative hanno sviluppato rappresentazioni virtuali di entità, processi o fenomeni naturali o sociali.

Caratteristiche

[40] Il Green Deal europeo è un insieme di iniziative politiche proposte dalla Commissione europea con l'obiettivo generale di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050.

Un Digital Twin è caratterizzato da diverse proprietà:

- Alta fedeltà.

Un Digital Twin deve essere una copia quasi identica della sua controparte fisica in termini di aspetto, contenuto, funzionalità, ecc., con un grado di accuratezza molto elevato.

- Dinamico.

Il fisico è dinamico, nel senso che cambia rispetto al tempo. Pertanto, anche

un Digital Twin deve cambiare quando cambia il sistema fisico. Ciò si ottiene attraverso la connessione continua e lo scambio continuo tra il mondo fisico e quello virtuale.

- Auto-evoluzione.
  Un digital twin si evolve insieme alla sua controparte fisica durante il suo ciclo di vita, eventuali modifiche al gemello fisico o digitale si riflettono nella sua raccolti dal gemello fisico in tempo reale, maturando così insieme alla sua controparte fisica per tutta la vita.
- Identificabile.
  Ogni risorsa fisica deve avere il proprio Digital Twin. Durante le diverse fasi del ciclo di vita del prodotto, i dati e le informazioni ad esso correlati evolvono e così anche il modello, inclusi modelli geometrici 3D, di produzione, di utilizzo e funzionali. A causa dell'esistenza di tali modelli, un Digital Twin può essere identificato in modo univoco dal suo gemello fisico o viceversa in qualsiasi parte del globo.
- Multiscala e Multifisico.
  Il digital twin deve incorporare le proprietà del gemello fisico su più scale o livelli, pertanto, il modello virtuale si basa su proprietà geometriche macroscopiche, come forma, dimensione, tolleranza, e su proprietà microscopiche, come rugosità superficiale. In altre parole, un Digital Twin contiene l'insieme di informazioni sul gemello fisico dal livello micro atomico al livello macro geometrico.
  Il modello digitale è anche multifisico perché, oltre alle suddette proprietà geometriche, il modello si basa anche su proprietà fisiche del gemello fisico, come modelli di dinamica strutturale, modelli termodinamici, modelli di analisi delle sollecitazioni, modelli di danno da fatica e proprietà del materiale del gemello fisico come la rigidità, resistenza e durezza fatica.
- Multidisciplinare.
  Il Digital Twin vede la fusione di discipline come l'informatica, la tecnologia dell'informazione e le comunicazioni; l'ingegneria meccanica, elettrica, elettronica e meccatronica; l'automazione e l'ingegneria industriale; fisica dell'integrazione di sistema.
- Gerarchico.
  La natura gerarchica di Digital Twin deriva dal fatto che i diversi componenti e parti che compongono il prodotto finale hanno tutti il loro modello digital twin corrispondente.

Alcuni dei vantaggi riportati per i Digital Twins includono:

- Prototipazione rapida e riprogettazione del prodotto.
  Poiché le simulazioni consentono l'indagine di una serie di scenari, i cicli di progettazione e analisi si accorciano, rendendo l'intero processo di prototipazione o riprogettazione più semplice e veloce. Una volta implementato, i Digital Twin può essere utilizzato in diverse fasi del processo di progettazione del prodotto, dalla concettualizzazione dell'idea del prodotto alla sua sperimentazione. Oltre a ciò, crea anche un'opportunità in cui è possibile la personalizzazione di ciascun prodotto in base alle esigenze degli utenti e ai dati di utilizzo. Poiché il Digital Twin è collegato al suo gemello fisico per tutta la sua durata, è possibile effettuare il confronto tra le prestazioni effettive e quelle previste, consentendo ai progettisti del prodotto di riconsiderare le ipotesi su cui è stato progettato.
- Conveniente.
  A causa del Digital Twin che coinvolge principalmente risorse virtuali per la sua creazione, il costo complessivo della prototipazione diminuisce con il tempo. La riprogettazione di un prodotto richiede tempo e denaro a causa dell'uso di materiali fisici e manodopera e, inoltre, un test distruttivo significa la fine di quel costoso prototipo, mentre utilizzando Digital Twin, i prodotti possono essere ricreati e sottoposti a test distruttivi senza alcun costo di materiale aggiuntivo. Quindi, supponendo che anche se il costo è uguale all'inizio, i costi fisici continuano ad aumentare all'aumentare dell'inflazione ma il costo virtuale diminuisce significativamente con il passare del tempo. Il Digital Twin consente di testare i prodotti in diversi scenari operativi senza costi aggiuntivi.
- Previsione dei problemi.
  Usando il Digital Twin, possiamo prevedere i problemi e gli errori per gli stati futuri del suo gemello fisico, fornendoci l'opportunità di pianificare

di conseguenza. A causa del flusso di dati in tempo reale tra l'asset fisico e il relativo Digital Twin, è in grado di prevedere i problemi nelle diverse fasi del ciclo di vita. Ciò è vantaggioso soprattutto per i prodotti che hanno strutture complesse e sono costituiti da più materiali, perché con l'aumentare della complessità di qualsiasi prodotto, diventa più difficile prevedere i guasti dei componenti utilizzando metodi convenzionali.

- Soluzioni di ottimizzazione e manutenzione migliorata.
  I metodi tradizionali di manutenzione si basano sull'esperienza euristica e sugli scenari peggiori piuttosto che sul materiale specifico, sulla configurazione strutturale e sull'utilizzo di un singolo prodotto, rendendoli reattivi. Tuttavia, il Digital Twin può prevedere difetti e danni alla macchina o all'impianto di produzione e quindi può programmare in anticipo la manutenzione del prodotto. Simulando diversi scenari, il digital twin fornisce la migliore soluzione o strategia di manutenzione possibile che rende molto più semplice la manutenzione del prodotto. Inoltre, il ciclo di feedback costante tra il Digital Twin e la sua controparte fisica può essere utilizzato per convalidare e ottimizzare in ogni momento il processo del sistema.
- Accessibilità.
  A differenza dei sistemi fisici, che sono limitati dalla loro posizione geografica, i sistemi virtuali come il Digital Twin possono essere ampiamente condivisi e accessibili da remoto. Il monitoraggio e il controllo remoto di apparecchiature e sistemi diventa una necessità in una situazione in cui l'accesso locale è limitato, come durante la pandemia di Covid-19, quando i blocchi sono stati imposti dai governi e lavorare in remoto o senza contatto è stata l'unica opzione praticabile.
- Più sicuro della controparte fisica.
  In settori come il petrolio e il gas o l'estrazione mineraria in cui le condizioni di lavoro sono estreme e pericolose, la capacità del Digital Twin di accedere in remoto al suo gemello fisico, così come la sua natura predittiva, può ridurre il rischio di incidenti e guasti pericolosi. Tuttavia, il vantaggio dell'accesso remoto non si limita alla prevenzione degli incidenti. Durante la pandemia globale di Covid-19, anche non avere contatti umani e monitorare di persona è un modo per garantire la sicurezza.
- Riduzione dei rifiuti.
  L'utilizzo del digital twin per simulare prototipi di prodotti o sistemi in un ambiente virtuale riduce significativamente gli sprechi. I progetti di prototipi possono essere esaminati virtualmente, in una varietà di scenari per finalizzare il progetto del prodotto finale prima della produzione. Ciò non solo consente di risparmiare sugli sprechi di materiale, ma riduce anche i costi di sviluppo e il tempo.
- Documentazione e comunicazione.
  Per creare un digital twin, è importante sincronizzare i dati tra diverse applicazioni software, database, copie cartacee, ecc., che semplifica il processo di accesso e mantenimento dei dati. Il digital twin consente una migliore comprensione delle reazioni del sistema e quindi può essere utilizzato per documentare il comportamento e i meccanismi del gemello fisico.
- Addestramento.
  Il digital twin può essere utilizzato per sviluppare programmi di formazione sulla sicurezza più efficienti e illustrativi rispetto a quello tradizionale. Prima di lavorare su un sito ad alto rischio o su macchinari pericolosi, gli operatori possono essere addestrati utilizzando un digital twin per ridurre i pericoli, poiché esporli e istruirli su processi o scenari diversi li renderà sicuri nell'affrontare le stesse situazioni di persona.

L'utilizzo di un Digital Twin urbano nella realtà virtuale non è solo un nuovo modo di utilizzare le tecnologie intelligenti per i processi di pianificazione collaborativa, ma facilita anche la comprensione tra i soggetti. Sebbene il concetto sia vecchio, il suo impatto reale si è manifestato solo negli ultimi anni. Il mercato digitale continuerà a crescere poiché sempre più industrie adattano la tecnologia grazie al suo potenziale nel ridurre i costi e i tempi, aumentare la produttività del sistema, migliorare la manutenzione, facilitare l'accessibilità e creare un ambiente sicuro. Questa tecnologia combinata con altre, aprirà le porte a potenzialità e sebbene abbia le sue sfide, i vantaggi sono maggiori.

4.2. Le aree in cui la Smart City risponde ai problemi urbani

Il governo della città contemporanea deve fare i conti con dinamiche sociali, economiche, politiche e tecniche che sono strettamente correlate e si influenzano profondamente a vicenda. Comprendere la complessità di questo fenomeno richiede una connessione tra discipline scientifiche e discipline umanistiche e dovrebbe essere descritto nella sua complessità come prodotto di negoziazione tra attori, regole, leggi e volontà collettiva.

La città deve essere considerata come il luogo in cui si sviluppano la vita, la relazione e la comunicazione, che è stata migliorata negli ultimi anni dalla crescita dei prodotti digitali e dal loro potere nell'influenzare le nostre abitudini lavorative quotidiane, le relazioni di lavoro di squadra e il processo creativo. Pertanto affinché una città sia intelligente, le innovazioni e i concetti tecnici devono essere incentrati sui bisogni dei cittadini piuttosto che raggiungere l'efficienza economica o di processo. Per raggiungere questo obiettivo, bisogna comprendere meglio i complessi problemi che si verificano nei sistemi urbani odierni, nonché delle esigenze dei suoi abitanti e dell'impatto di nuove soluzioni e concetti non solo su scala economica, ma anche su quella sociale e ambientale.

Le città devono porre importanti sfide per ridurre l'impatto ambientale e risolvere i seguenti problemi che potrebbero verificarsi:

- la fornitura di energia;
- le emissioni di gas serra e altri impatti ambientali come l'inquinamento dell'acqua e la gestione dei rifiuti;
- la pianificazione urbana del traffico;
- l'approvvigionamento delle materie prime come l'acqua;

- la fornitura di servizi sanitari e della sicurezza dei cittadini.

Da questo si constata che sono tante le problematiche per le quali la città si deve preoccupare di trovare soluzioni, pertanto la Smart City, intesa come una città che utilizza tecnologie moderne, è spesso intesa come una *soluzione finale* ai problemi urbani.

MGI[41] ha valutato come le applicazioni Smart City potrebbero influenzare varie dimensioni della qualità della vita: sicurezza, tempo e convenienza, salute, qualità ambientale, connessione sociale e partecipazione civica, posti di lavoro e costo della vita[42].

L'ampia gamma di risultati riflette il fatto che le applicazioni funzionano in modo diverso da città a città e la loro implementazione potrebbe potenzialmente ridurre i decessi dall'8% al 10%. In una città ad alto tasso di criminalità con una popolazione di cinque milioni di abitanti, questo potrebbe significare salvare fino a 300 vite ogni anno. La tecnologia non è una soluzione rapida per il crimine, ma si possono utilizzare i dati per impiegare risorse e il personale in modo più efficace. La mappatura della criminalità in tempo reale permette all'azione delle forze dell'ordine di prevenire gli incidenti prima che si verifichino, attraverso il rilevamento di spari, la sorveglianza intelligente e i sistemi di sicurezza domestica. Questi tipi di applicazioni potrebbero ridurre i tempi di risposta alle emergenze del 20%/35%.

Decine di milioni di persone nelle città di tutto il mondo iniziano e finiscono ogni giornata lavorativa nel traffico o ammassandosi su autobus e treni sovraffollati. Migliorare gli spostamenti quotidiani è fondamentale per la qualità della vita. Entro il 2025, le città che implementano applicazioni per la mobilità intelligente hanno il potenziale per ridurre i tempi di percorrenza in media del 15%/20% e di risolvere i problemi prima che si trasformino in guasti e ritardi. Le applicazioni che riducono la congestione stradale sono più efficaci nelle città in cui la guida è prevalente. La navigazione in tempo reale avvisa i conducenti dei ritardi e li aiuta a scegliere il percorso più veloce e le app per il parcheggio intelligente li indirizzano direttamente ai punti disponibili.

Man mano che l'urbanizzazione, l'industrializzazione e il consumo crescono, le pressioni ambientali si moltiplicano.

Applicazioni come i sistemi di automazione degli edifici, la tariffazione dinamica dell'elettricità e alcune applicazioni di mobilità potrebbero combinarsi per ridurre le emissioni dal 10% al 15%. Il monitoraggio del consumo di acqua, che abbina la misurazione avanzata ai messaggi di feedback digitale, può spingere le persone verso la conservazione e ridurre il consumo del 15% nelle città in cui l'utilizzo di acqua residenziale è elevato. Applicazioni come il monitoraggio digitale a consumo possono ridurre il volume di rifiuti solidi pro capite dal 10% al 20%.

I sensori di qualità dell'aria non affrontano automaticamente le cause dell'inquinamento, ma possono identificare le fonti e fornire la base per ulteriori azioni. Pechino ha ridotto gli inquinanti mortali nell'aria di circa il 20% in meno di un anno, monitorando da vicino le fonti di inquinamento e regolando di conseguenza il traffico e le costruzioni. La condivisione di informazioni sulla qualità dell'aria in tempo reale con il pubblico tramite app per smartphone consente alle persone di adottare misure di protezione. Ciò può ridurre gli effetti negativi sulla salute dal 3% al 15%, a seconda degli attuali livelli di inquinamento.

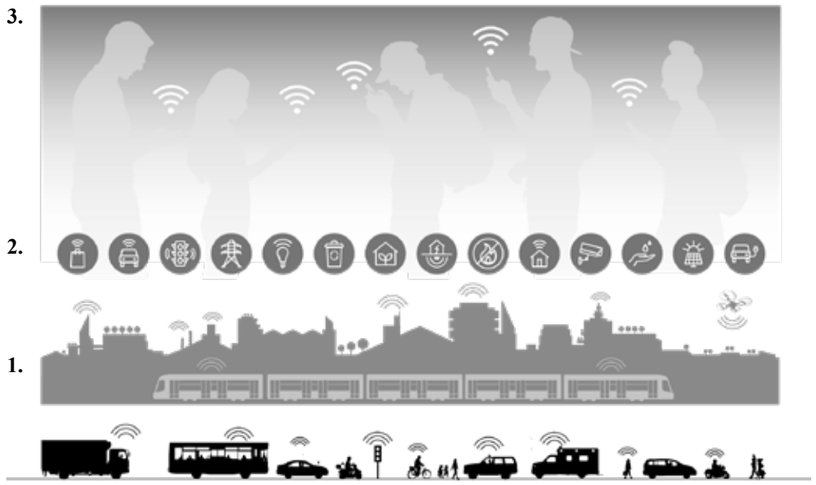
La creazione di canali di comunicazione bidirezionale tra il pubblico e le agenzie locali potrebbe rendere le amministrazioni cittadine più reattive. Molte agenzie cittadine mantengono una presenza attiva sui social network e altre hanno sviluppato le proprie app interattive per i cittadini. Oltre a diffondere informazioni, questi canali creano veicoli con cui i residenti possono segnalare problemi, raccogliere dati o valutare questioni di pianificazione.

Sono quattro le aree in cui la Smart City può contribuire a risolvere i problemi delle città contemporanee:

1. migliorare l'economia dell'innovazione;
2. migliorare le infrastrutture e i servizi diffondendo applicazioni nei campi della mobilità, reti energetiche e reti intelligenti;
3. migliorare la qualità della vita sia per l'innovazione sociale, come welfare, e istruzione, sia nel campo dell'ambiente, per esempio attraverso il monitoraggio delle condizioni ambientali;
4. migliorare il governo della città in termini di processi decisionali e

[41] Il McKinsey Global Institute (MGI) è una multinazionale fondata nel 1990 per sviluppare una comprensione più profonda dell'evoluzione dell'economia globale. La missione è fornire ai leader nei settori commerciale, pubblico e sociale i fatti e le intuizioni su cui basare le decisioni gestionali e politiche (www.mckinsey.com).

[42] McKinsey Global Institute, 2018. *Città intelligenti: soluzioni digitali per un futuro più vivibile.*



a sinistra:
3 layers of “smartness” will elevate life in cities of the future, CMckinsey Global Istitute analysis.

Traditional infrastructure... ... (both physical and social)

1. The tech base includes networks of connected devices and sensors

2. Smart applications and data-analysis capabilities

3. Adoption and usage, often leading to better decisions and behavior change

partecipazione dei cittadini alla vita pubblica.

La scelta della soluzione per risolvere i problemi di una determinata città dipende dalle caratteristiche sociali, naturali ed economiche, nonché dall’orientamento dello sviluppo urbano e del livello di sviluppo tecnologico di quel paese. Si sta affermando una visione della città che viene migliorata sia attraverso l’uso delle tecnologie che dalle iniziative dei cittadini. Le piattaforme sociali permettono agli individui di comunicare e questo porta alla formazione di comunità attorno a differenti idee. La cittadinanza ampia ed eterogenea dovrebbe assumere un ruolo attivo nello spazio urbano, anche attraverso l’utilizzo di strumenti tecnologici open source per mettere insieme conoscenze, competenze e idee, rendendo concreti i cambiamenti. Si potrebbe utilizzare il concetto di *senseable cities* per enfatizzare la centralità dell’uomo all’interno delle città, dove i sistemi e cittadini interagiscono. Per quanto riguarda l’azione per il clima, contrariamente al recente interesse per il concetto di Smart City, è stata in cima all’agenda delle pubbliche amministrazioni sin dai primi anni ‘90. Pertanto, molte città dispongono già di meccanismi che mirano ad affrontare il cambiamento climatico, anche se orientati principalmente alla riduzione delle emissioni di CO_2. Una possibile iniziativa è quella di aumentare la consapevolezza sociale nei progetti ambientali perché spesso il cambiamento climatico non è considerato molto importante dagli stakeholder e l’ambiente non sembra avere un ruolo chiave nella loro visione di Smart City.

A causa della necessità di avere aree urbane che si adattino nel contesto del cambiamento climatico, il concetto di Smart City potrebbe dover evolversi in quello di una *Smart Sustainable City*, posizionando l’ambiente al centro del suo sviluppo[43]. Quando un approccio Smart City promuove l’integrazione delle strategie climatiche e incoraggia la partecipazione dei cittadini, porta a una migliore interazione tra tecnologia e natura.

Data l’attuale situazione del cambiamento climatico nelle città, è necessario dare la priorità alle soluzioni tecnologiche rispettose dell’ambiente. Quindi oltre a cambiare la consapevolezza delle persone, l’uso di *tecnologie rispettose dell’ambiente* contribuirà anche a ottenere una maggiore efficienza in risposta ai cambiamenti climatici.

Nelle soluzioni architettoniche, di pianificazione e infrastruttura, ci sono molte soluzioni in grado di rispondere al cambiamento climatico. Tuttavia, è importante considerare gli impatti favorevoli di queste soluzioni con altri problemi urbani al fine di selezionare le soluzioni più efficaci per le città.

Nel complesso, c’è ancora molto da discutere sulle città sostenibili intelligenti, infatti ci sono molti problemi che non possono essere risolti utilizzando le soluzioni di Smart City, ad esempio, l’aumento della popolazione urbana, il numero di città, ecc. devono essere risolti con soluzioni sociologiche piuttosto che con le tecnologie[44].

[43] Garca Fernández, C. & Peek, D., 2020. *Smart and Sustainable? Positioning Adaptation to Climate Change in the European Smart City*. Smart Cities, p. 51143

[44] Bich Ngoc Nguyen, T. and Linh Do, T., 2021. *Some solutions of “Smart city” in response to urban climate change*, p.2.

4.2.1. Salute

Anche la recente pandemia di Covid-19 ha evidenziato il potenziale delle città intelligenti: l'integrazione di tecnologie Smart City, come termocamere e sensori IoT, con l'intelligenza artificiale può aiutare a prevenire la diffusione di malattie infettive.

Ad esempio, gli Emirati Arabi Uniti hanno fornito alla polizia caschi intelligenti dotati di telecamere termiche, sensori di riconoscimento facciale e lettori di targhe per tracciare e monitorare i cittadini. Sia la Corea che Singapore hanno assemblato mappe pubbliche dei casi confermati di Covid, consentendo ai cittadini di vedere la cronologia delle posizioni dei pazienti e consentendo loro di stare alla larga dalle zone di epidemia. Inoltre Taiwan ha integrato il suo sistema sanitario nazionale con il suo database sull'immigrazione, consentendo ai funzionari medici di inviare avvisi in tempo reale ai medici su quali pazienti erano a maggior rischio di contrarre Covid-19 in base alla loro storia di viaggio[45].

Anche gli smartphone, in quanto componente essenziale delle città intelligenti, svolgono un ruolo fondamentale nella gestione delle epidemie. I loro biosensori sempre più avanzati, l'elevata potenza di elaborazione e la connettività ad alta velocità, li rendono per esempio candidati ideali per aumentare il rilevamento di agenti patogeni.

La Corea ha utilizzato i dati del tracciamento del telefono GPS, nonché i registri delle carte di credito e i video di sorveglianza per tracciare i movimenti dei suoi cittadini e informare il pubblico se sono stati in contatto con qualcuno che è stato infettato. Singapore ha implementato il tracciamento dei contatti tramite due sistemi: il programma *SafeEntry* consiste in codici QR che i

[45] CB Insights Research. 2020. *What is a Smart City?*.

cittadini scansionano per entrare in aree pubbliche, che li avvisa se un positivo si trova nella stessa posizione; mentre il programma *TraceTogether* utilizza smartphone o token abilitati Bluetooth per tenere traccia di incontri ravvicinati con persone infette.

L'attuazione di questi protocolli ha sollevato preoccupazioni per quanto riguarda la privacy e la sorveglianza, ma molti funzionari hanno sottolineato la natura di emergenza della situazione. Altri paesi hanno infatti optato per la tracciabilità dei contatti volontaria, anziché obbligatoria.

sopra:
check-in SafeEntry
tramite app a Singapore.
Todayonline.com.

a sinistra:
il token TraceTogether
contiene un codice QR
che può essere scansionato
per l'ingresso ai luoghi a
Singapore. Tnp.
straitstimes.com.

4.2.2. Trasporti

Importante è la gestione del traffico: la tecnologia intelligente può essere utilizzata per connettere veicoli, infrastrutture, trasporto pubblico e persone per migliorare la mobilità e la sicurezza.
Le strade possono essere dotate di sensori che tracciano i dati sia sulle strade che attraverso le auto e gli smartphone dei cittadini al fine di ottenere informazioni su modelli di flusso del traffico, blocchi stradali, lavori stradali, condizioni stradali e altro ancora. Amsterdam, ad esempio, utilizza già un sistema di gestione del traffico intelligente, in cui il traffico viene monitorato in tempo reale. Ciò consente alla città di trasmettere informazioni sui tempi di percorrenza attuali sulle strade, aiutando gli automobilisti a decidere il percorso migliore da prendere in un determinato momento. Un altro problema è il parcheggio: guidare senza meta per trovare un parcheggio spreca energia e aumenta la congestione del traffico. Con l'uso della tecnologia intelligente, tuttavia, questo potrebbe diventare un problema del passato. I sensori incorporati nel terreno possono essere utilizzati per identificare quali parcheggi sono disponibili o occupati. I conducenti possono visualizzare la mappa tramite un'app sul proprio telefono, che mostra i parcheggi più vicini a loro disposizione, risparmiando così tempo e denaro. Oppure questa tecnologia può essere utilizzata per avvisare facilmente gli agenti di controllo del parcheggio quando un'auto ha parcheggiato illegalmente. Con l'aumento della congestione nelle città, i trasporti esistenti non possono più tenere il passo con la popolazione in crescita. Le startup stanno sviluppando piattaforme di condivisione per biciclette elettriche e scooter, che alleviano la congestione fungendo da alternativa alle auto per i viaggi più brevi e aiutando a collegare le persone agli hub di trasporto pubblico per i viaggi più lunghi.

4.2.3. Sostenibilità

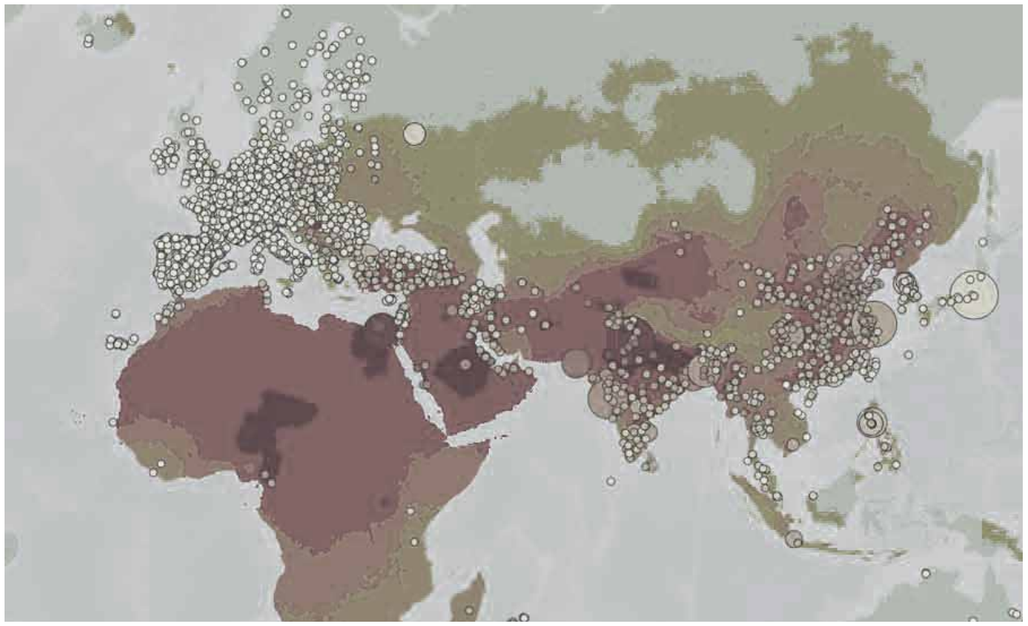
Un'ampia gamma di soluzioni IoT può essere implementata nelle città per migliorare l'efficienza energetica.

L'illuminazione stradale intelligente può ridurre il consumo di energia rimanendo fioca quando non ci sono auto o persone in giro, quindi accendendosi quando i sensori rilevano che qualcuno sta arrivando. Chicago ha creato un programma che sostituirà 270.000 luci con illuminazione a LED dotata di controlli intelligenti entro il 2021, facendo risparmiare alla città circa 10 milioni di dollari l'anno in costi energetici[46].

Altri modi per promuovere l'efficienza energetica includono attingere a forme di energia, ad esempio calore e rifiuti, che altrimenti potrebbero essere trascurate. A Seoul, ad esempio, gli impianti di recupero delle risorse locali trasformano i rifiuti urbani in vapore da utilizzare come fonte alternativa di energia. Le città intelligenti possono anche promuovere l'energia rinnovabile consentendo ai proprietari di pannelli solari sui tetti di vendersi l'un l'altro o gestendo microreti in grado di produrre energia in loco.

Attraverso l'uso di reti di sensori wireless, una città intelligente può raccogliere e analizzare dati relativi a fattori ambientali come temperatura, umidità e qualità dell'aria, il tutto in aree specifiche di una città. Ciò è particolarmente importante per ridurre i livelli di inquinamento atmosferico nelle aree densamente popolate. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha riferito che circa il 92% della popolazione mondiale vive con un inquinamento al di sopra dei limiti raccomandati. Circa 3 milioni di morti ogni anno sono legati all'inquinamento dell'aria esterna. Per combattere questo, le città intelligenti stanno implementando tecnologie per raccogliere informazioni sulla qualità

[46] CB Insights Research. 2020. *What is a Smart City?*.



a sinistra:
mappa sulla qualità dell'aria nel mondo.
Snpambiente.it

in basso:
energia rinnovabile
Geometra24.it

dell'aria altamente localizzate. Ogni dispositivo in una città raccoglie misurazioni della qualità dell'aria che vengono quindi inviate a un'applicazione basata su cloud, dove vengono suddivise in analisi per il governo e il pubblico. Ciò aiuta i responsabili politici a identificare quali aree necessitano dei maggiori miglioramenti ambientali e aiuta il pubblico a evitare aree che potrebbero essere particolarmente dannose in un determinato giorno.

Normalmente, i vari sistemi all'interno di un edificio, come illuminazione, videosorveglianza, climatizzazione, ventilazione e protezione antincendio, svolgono il loro lavoro separatamente. Gli edifici intelligenti, tuttavia, hanno tutti questi sistemi collegati tramite una rete IoT, che consente loro di comunicare tra loro e lavorare insieme per rendere l'edificio il più efficiente possibile attraverso continui adeguamenti. I sensori possono rilevare quando una determinata stanza o ufficio è libero e dedicare meno illuminazione e meno risorse di temperatura a quello spazio. Ciò riduce il consumo energetico totale dell'edificio nel suo complesso.

È possibile implementare soluzioni intelligenti per la gestione dei rifiuti per migliorare i servizi di rimozione dei rifiuti, ridurre i costi operativi e migliorare la sostenibilità. Ciò può essere ottenuto attraverso contenitori per rifiuti intelligenti a cui sono collegati sensori che misurano il livello di riempimento. I contenitori intelligenti possono anche aiutare a incoraggiare e monitorare i tassi di riciclaggio. Times Square a New York City ha allestito quasi 200 stazioni intelligenti per rifiuti e riciclaggio con compattazione integrata, sensori di riempimento e notifiche di raccolta. Ciò ha comportato un tasso di riciclaggio corretto del 40% e una riduzione del 50% delle raccolte settimanali[31].

Le tecnologie idriche intelligenti possono aiutare a migliorare l'approvvigionamento, il trattamento e la consegna di questa risorsa essenziale. Attraverso il monitoraggio dei modelli di consumo sia per i servizi pubblici che per gli utenti finali, le città possono ottimizzare e ridurre gli sprechi idrici e i costi di consegna. I sensori potrebbero avvisare una città delle perdite d'acqua in modo che possa risolverle il più rapidamente possibile. La città di Castellon, in Spagna ha sperimentato una piattaforma idrica intelligente per ridurre i costi delle utenze e ottimizzare le risorse tramite contatori dell'acqua intelligenti.

4.2.4. Servizi

I servizi pubblici forniti al pubblico tendono ad essere lenti e inefficienti in molte città. Tuttavia, con l'uso della tecnologia digitale, i servizi pubblici possono essere semplificati in vari modi innovativi.

Buenos Aires faceva affidamento su un inefficiente sistema di hotline telefoniche in cui i cittadini dovevano registrare un reclamo o una richiesta di servizi pubblici. Ci sono voluti in media 600 giorni, quasi 2 anni, per risolvere i problemi. Da allora la città è passata a un'app mobile in cui i cittadini possono scattare una foto del problema, da una grande buca nella strada che deve essere riempita a proprietà pubbliche vandalizzate che devono essere riparate. L'app, utilizzando un sistema informativo geografico integrato (GIS), invia istantaneamente la posizione e le informazioni del reclamo al ministero, e il lavoro viene assegnato al fornitore più vicino che può risolvere il problema. Una volta che il problema è stato risolto, un ispettore cittadino convalida il lavoro completato e carica un'immagine del problema risolto sull'app mobile, in modo che i cittadini possano vedere che il problema è stato risolto. Il tempo medio necessario per risolvere un reclamo a Buenos Aires da allora è diminuito del 93% senza alcun aumento del budget.

Nel 2007, Seoul ha lanciato il *120 Dasan Call Center*. Invece di chiamare numeri diversi per raggiungere vari uffici distrettuali o governativi, i cittadini potevano semplicemente comporre il 120 per parlare con un operatore, se avevano bisogno di informazioni su siti turistici, trasporti pubblici, interpretariato, prenotazioni di ospitalità o altro. Il database centrale contiene anche 13.000 cause civili, consentendo agli operatori di cercare rapidamente le risposte alle domande. Questo sistema centralizzato aiuta a gestire i reclami dei cittadini

a sinistra:
piattaforma 120 Dasan Call Center di Seul.
Seoulsolution.kr

e gestisce non solo le chiamate, ma anche gli SMS, i messaggi e le richieste dei social media. Oltre a gestire le richieste locali, ha anche contribuito a espandere l'accessibilità dei servizi governativi per i turisti stranieri o per i non udenti[47].

La tecnologia intelligente che viene implementata nelle città ha il potenziale per fornire enormi risparmi sui costi. Tuttavia, le città devono prima investire grandi quantità di denaro in questi progetti prima che inizino a dare i loro frutti. La mancanza di finanziamenti adeguati è una grande barriera che impedisce a molte città di passare all'implementazione della tecnologia intelligente. Inoltre, costruire la nuova infrastruttura per le città intelligenti è un processo complesso che richiede anni per essere completato. È necessaria una ricerca approfondita prima di prendere decisioni così grandi e costose, soprattutto perché ogni città deve sviluppare il proprio piano d'azione unico.

Sono state inoltre formulate alcune critiche sui potenziali svantaggi che una città intelligente potrebbe porre. Poiché le città intelligenti si basano sull'acquisizione, la registrazione e l'analisi dei dati, ci sono preoccupazioni riguardo alla privacy dei cittadini. Gli enti governativi che aggregano tutte queste informazioni devono utilizzare pratiche trasparenti per aiutare a garantire al pubblico che i loro dati non vengano utilizzati in modo improprio.

Esiste anche la possibilità che i dati pubblici vengano rubati dagli hacker, il che potrebbe rappresentare una grande minaccia per la sicurezza di individui, organi di governo e persino della città stessa. Se la tecnologia intelligente non è crittografata in modo sicuro o è priva di forti protezioni di sicurezza, un hacker potrebbe manipolare i dispositivi in giro per la città. Ad esempio, qualcuno potrebbe violare i semafori intelligenti, prendere il controllo e farli diventare tutti rossi. Ciò provocherebbe il caos in una città, poiché le auto inizierebbero inevitabilmente a far funzionare le luci rosse, causando incidenti, mentre ai veicoli di emergenza come polizia e ambulanze sarebbe impedito di raggiungere le loro destinazioni.

Dare alta priorità a sistemi di sicurezza forti sarà essenziale per le città intelligenti, altrimenti tali vulnerabilità potrebbero lasciarle esposte a tutti i tipi di eventi potenzialmente catastrofici e costosi.

[47] CB Insights Research. 2020. *What is a Smart City?*.

Casi studio

capitolo 5

I problemi urbani dovuti al cambiamento climatico e all'urbanizzazione insieme alle innovazioni tecnologiche sono le due grandi pressioni che implicano l'evoluzione nel modo di costruire e governare la città. Tra le principali innovazioni vi sono le Smart City, un'area urbana in cui, grazie all'utilizzo delle tecnologie digitali è possibile ottimizzare e migliorare le infrastrutture e i servizi ai cittadini rendendoli più efficienti e risolvere i problemi urbani.
Tra le tecnologie adottate dalla città intelligente, l'Urban Digital Twin sembra essere la più completa nel supporto alla risoluzione dei problemi urbani. Si basa sulla rappresentazione virtuale della realtà, utilizzando dati, strumenti di monitoraggio e di apprendimento automatico per aiutare i modelli che possono essere aggiornati e modificati in tempo reale. I gemelli digitali inoltre permettono di migliorare la pianificazione, la gestione delle città e garantire l'interoperabilità tra i diversi settori, anche attraverso simulazioni di fattori, come rumore, traffico, dispersione termica, previsioni di alluvioni e allagamento. Per prendere decisioni orientate al futuro su scala cittadina, è quindi necessario che le parti interessate dispongano di una rappresentazione digitale della rispettiva città e della capacità di interagire con essa. Concretamente questi modelli portano un sistema operativo più efficiente e grazie ai dati affidabili del gemello digitale, le questioni climatiche possono essere meglio integrate nel processo decisionale di pianificazione.
La ricerca è quindi orientata a comprendere il processo che dai problemi del cambiamento climatico porta all'attuazione degli urban Digital Twin, comprendendo le strategie di mitigazione e adattamento, le diverse azioni per la gestione di flussi di materia ed energia, costruito e mobilità, e le tecnologie

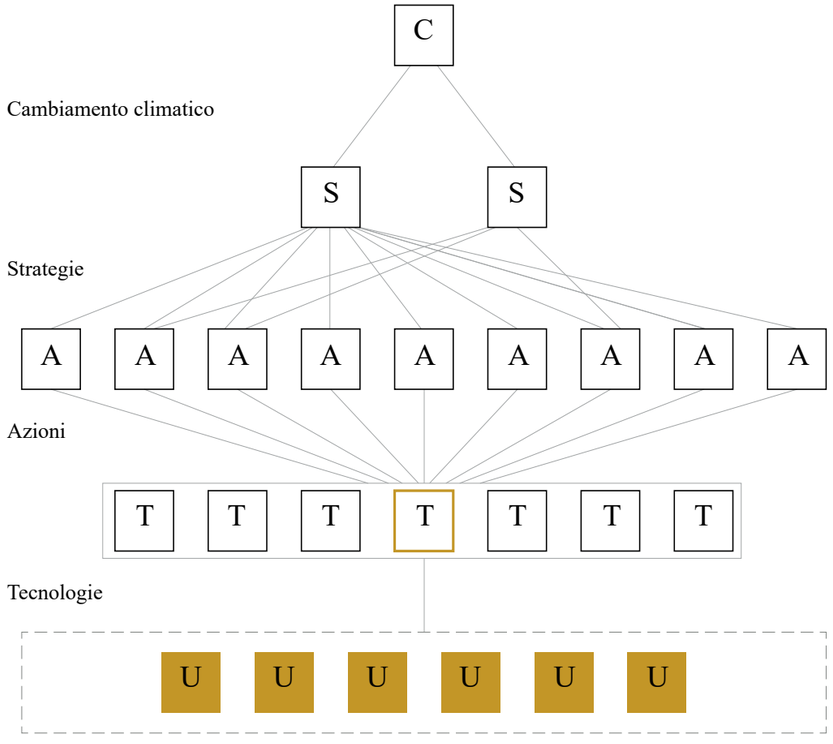


figura 11:
il grafico rappresenta il processo di analisi, a cura di D'Amanzo C. e Feijoo S.

utilizzate per migliorare il processo (fig.11).

Il cambiamento climatico è una delle questioni più complesse che si devono affrontare oggi. Fino a poco tempo fa, la comunità internazionale si era concentrata sul tentativo di limitare le emissioni di CO_2, ma sulla base degli ultimi dati, ha diversificato i suoi sforzi, promuovendo politiche di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici per ridurre al minimo gli effetti di questo fenomeno, le cui conseguenze si stanno già vedendo in tutto il mondo. Entrambe le strategie si completano a vicenda e, sebbene presentino sfide diverse, l'obiettivo finale è lo stesso.

Mitigare il cambiamento climatico significa prevenire e ridurre le emissioni nell'atmosfera di GHG che intrappolano il calore per evitare che il pianeta si riscaldi a temperature più estreme. Questo può avvenire sia riducendo le fonti di questi gas, ad esempio la combustione di combustibili fossili per l'elettricità, il calore o i trasporti, o migliorando i "pozzi" che accumulano e immagazzinano questi gas, come gli oceani, le foreste e il suolo[48].

L'adattamento ai cambiamenti climatici significa alterare i modi di vita dei cittadini per proteggere le famiglie, le economie e l'ambiente in cui si vive. L'azione mira a ridurre al minimo i potenziali impatti dei cambiamenti climatici e gli effetti negativi sulla salute. L'obiettivo è ridurre la vulnerabilità dei sistemi naturali e umani agli effetti dannosi dei cambiamenti climatici, come l'innalzamento del livello del mare ed eventi meteorologici estremi più intensi. Affinché l'adattamento sia efficace, è necessario comprendere gli impatti attuali e previsti e le loro implicazioni per la salute, quindi sviluppare e attuare una serie di risposte per garantire un miglioramento.

[48] Nasa, 2021. *Climate Change Adaptation and Mitigation.*

Metodologia di analisi

La selezione dei casi studio si è basata su urban Digital Twin, in ambito internazionale, che si trovano nella classifica *Smart City Index 2021*. Zurigo, Helsinki, Monaco, Rotterdam e Singapore sono state prese in considerazione anche per aver adottato politiche di mitigazione e adattamento e per aver sviluppato una rappresentazione virtuale delle risorse fisiche.

Nell'analisi di ogni caso studio sono stati delineati quelli che sono gli aspetti

e le dinamiche che hanno portato a determinare la strategia e il conseguente processo smart. I cinque urban Digital Twin hanno iniziato ad utilizzare una serie di soluzioni tecnologiche per migliorare la qualità della vita dei cittadini e hanno introdotto politiche di adattamento e mitigazione in risposta ai diversi problemi legati agli impatti climatici. Rispetto a queste due strategie sono state individuate delle aree di analisi, tra cui energia, acqua, verde, rifiuti, infrastruttura, edilizia, traffico e veicoli, che sono i principali elementi che compongono le città e su cui si può intervenire per migliorare la gestione di queste risorse.

L'obiettivo dell'analisi finale è classificare in uno schema di sintesi le strategie adottate da ogni città, distinguere le due azioni di mitigazione e adattamento legate al cambiamento climatico ed evidenziare le strategie supportate dal Digital Twin.

5.1. Helsinki

Helsinki, la capitale della Finlandia, si trova su una penisola nel Golfo a sud del paese. Si tratta dell'area urbana più popolosa della Finlandia, nonché il centro più importante del paese per la politica, l'istruzione, la finanza, la cultura e la ricerca ed ha anche uno dei più alti standard di vita urbana al mondo. La città di Helsinki si mostra come un ambiente vitale, ricco di innovazione e incentrato sul concetto di sostenibilità e di smartness. È una delle città in più rapida crescita d'Europa e offre un intrigante mix di storia e alta tecnologia e ha anche una crescente reputazione per l'eccellenza sostenibile attirando turismo eco-compatibile, organizzatori di eventi e incontri verdi. Questa eccellenza ha portato Helsinki a vincere nel 2019 uno dei primi titoli di *European Capital of Smart Tourism*, concorso lanciato dalla Commissione Europea per premiare le città europee e consentire loro di condividere le loro pratiche esemplari di turismo intelligente.

La capitale finlandese si è prefissata l'obiettivo di raggiungere la neutralità carbonica entro il 2035, anche se si prevede che la sua popolazione crescerà da 640.000 abitanti di oggi fino a raggiungere i 780.000: ciò significa che i requisiti di efficienza energetica sono drastici. Le emissioni di gas serra sono già diminuite del 26% dal 1990 al 2019. Le soluzioni principali della mitigazione delle emissioni sono la sostituzione del carbone con il gas naturale nella produzione di energia e il miglioramento dell'efficienza energetica[49]. Helsinki sa che per diventare a zero emissioni di carbonio è necessario che i residenti, la città, le imprese e le organizzazioni lavorino insieme. Infatti centinaia di esperti, residenti e rappresentanti aziendali hanno partecipato per formulare il piano d'azione della città, *Carbon Neutral Helsinki 2035*.

[49] City of Helsinki. *From Agenda to Action: Implementation of the UN Sustainable Development Goals in Helsinki 2021.* p.18.

a sinistra:
vista della città di
Helsinki, Rinnovabili.it/

L'importanza della preparazione e dell'adattamento al cambiamento climatico non è stata compresa abbastanza bene nell'organizzazione della città. È importante adattarsi al cambiamento climatico con largo anticipo e prepararsi ai fenomeni meteorologici estremi e agli effetti globali del cambiamento climatico. Il tutto deve essere integrato e connesso più fortemente a tutte le attività e la pianificazione della città.

L'adattamento agli effetti del cambiamento climatico richiede la preparazione per periodi più lunghi di caldo e siccità, nonché forti piogge e persino l'innalzamento dei livelli del mare nei prossimi decenni. Per questo saranno prese le misure necessarie nella pianificazione urbana, nelle nuove costruzione e ristrutturazioni. Per adattarsi ai cambiamenti climatici, la quantità di alberi e vegetazione in città sarà aumentata: nuovi parchi e strutture verdi resistenti all'acqua piovana come i tetti verdi. In una struttura urbana sempre più densa, la quantità di acqua piovana dovrebbe aumentare ma, con una buona pianificazione, l'acqua piovana può essere utilizzata come fattore di attrazione nelle aree ricreative urbane e come elemento di valorizzazione della biodiversità nei parchi costruiti. Inoltre una struttura verde ben funzionante consente la gestione delle acque piovane, riduce al minimo i rischi di alluvione e riduce i fenomeni di isole termali.

Il piano di mitigazione ai cambiamenti climatici di Helsinki lavora su i tre settori maggiormente responsabili nella produzione di emissioni: della produzione di elettricità, quello dei trasporti e di riscaldamento.

Helsinki è leader mondiale nella mobilità intelligente e mira a ridurre le emissioni del traffico del 69% rispetto ai livelli del 2005 entro il 2035. La capacità e la funzionalità adeguate del sistema di trasporto urbano a condensazione saranno garantite pianificando tutte le modalità di trasporto e tenendo conto della loro interconnessione[50].

Verranno predisposte una serie di misure per rafforzare l'infrastruttura delle auto elettriche con l'obiettivo di ridurre il numero di motori a combustione nell'area urbana e si provvederà ad un'adeguata capacità di ricarica per le auto elettriche per contribuire al raggiungimento degli obiettivi climatici. Dunque si continuerà ad eliminare gradualmente i combustibili fossili nei trasporti

[50] Bressa, R., 2019. *Il piano di Helsinki per diventare una città a zero emissioni.*

a sinistra:
trasporto pubblico elettrico a Helsinki, Govinsider. asia

pubblici. Inoltre si sta attuando con determinazione il programma di sviluppo del traffico ciclistico. Oltre al traffico, il riscaldamento rappresenta oltre la metà delle emissioni di Helsinki. La maggiore riduzione potenziale risiede nell'attuazione di misure di efficienza energetica durante i lavori di ristrutturazione, che potrebbero ridurre le emissioni degli edifici dell'80%.

Helsinki ha prodotto un modello di città 3D e lo ha utilizzato come base per un'applicazione di mappe 3D chiamata *Helsinki Energy and Climate Atlas,* che contiene dati energetici reali e calcolati sul patrimonio edilizio cittadino. Ciò consente valutazioni specifiche degli edifici, analisi e simulazioni energetiche in tutta la città e l'identificazione di potenziali miglioramenti dell'efficienza energetica. Solo una piccola percentuale degli edifici di Helsinki è di proprietà del Comune, che rappresenta solo l'11% del potenziale di riduzione delle emissioni nel parco immobiliare di Helsinki, quindi i residenti sono incoraggiati a rinnovarsi da soli e consigliati su ristrutturazioni energetiche ed energie rinnovabili.

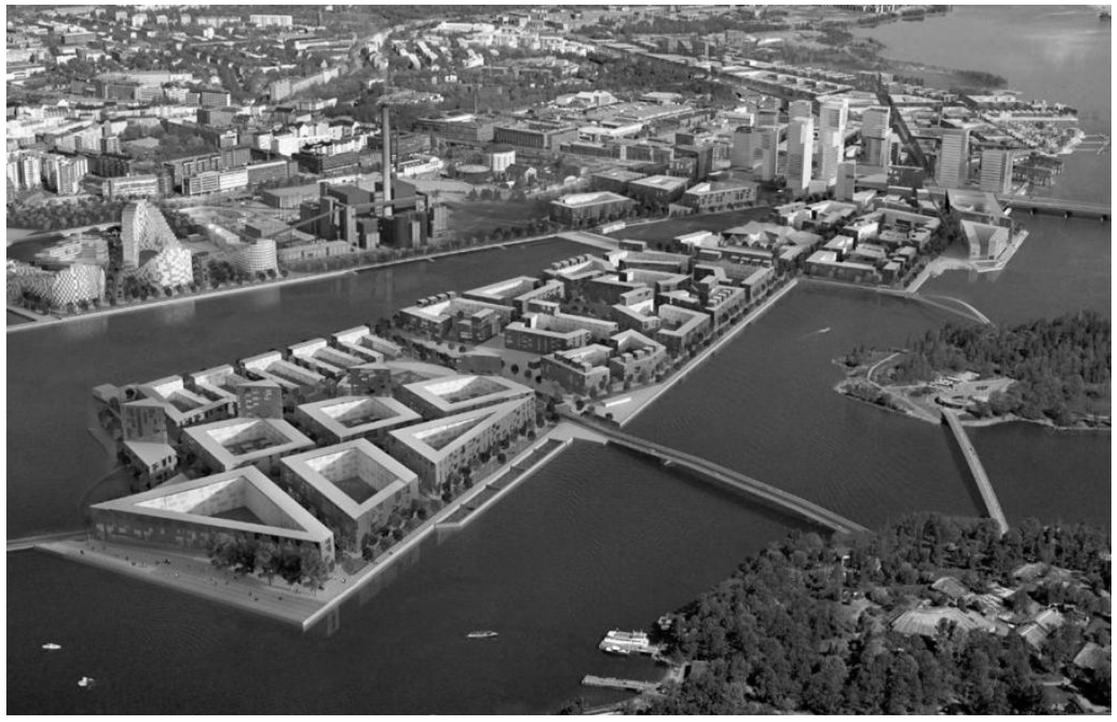
La città sta orientando sempre più la pianificazione distrettuale verso la neutralità del carbonio, l'efficienza energetica e l'uso di energia rinnovabile negli edifici della città, sostituendo le luci esterne con alternative più efficienti dal punto di vista energetico, utilizzando quindi l'energia termica ed eolica e promuovendo le costruzioni in legno.

Inoltre la società energetica della città sta lavorando per ridurre le emissioni di teleriscaldamento del 74% entro il 2035 utilizzando il calore di scarto, implementando pompe di calore, utilizzando la risposta alla domanda di calore ed elettricità e passando dalla produzione di energia elettrica da combustibili fossili a rinnovabile. L'obiettivo è smettere completamente di utilizzare il carbone entro il 2030.

La città promuove condivisione ed economia circolare, ad esempio i negozi di abbigliamento a Helsinki vendono sempre più vestiti e accessori realizzati con materiali riciclati insieme ad articoli di seconda mano. Lo spreco alimentare viene ridotto anche da iniziative come *ResQ Club*, un'app mobile che consente agli utenti di raccogliere gli avanzi dai ristoranti.

Secondo un rapporto del *Green Building Council*[51], gli edifici e le costruzioni

[51] Il Green Building Council (GBC) è un'organizzazione nazionale che fa parte di una rete globale riconosciuta dal World Green Building Council, ha come obiettivo promuovere la trasformazione dell'ambiente costruito verso una gestione sostenibile. (Wikipedia)



a sinistra:
trprogetto del quartiere Kalasatama, Themayor.eu

insieme rappresentano il 36% del consumo energetico globale e il 39% delle emissioni di anidride carbonica legate all'energia. La maggior parte di queste emissioni proviene dai combustibili fossili per fornire riscaldamento, raffreddamento e illuminazione, nonché da elettrodomestici e apparecchiature elettriche.

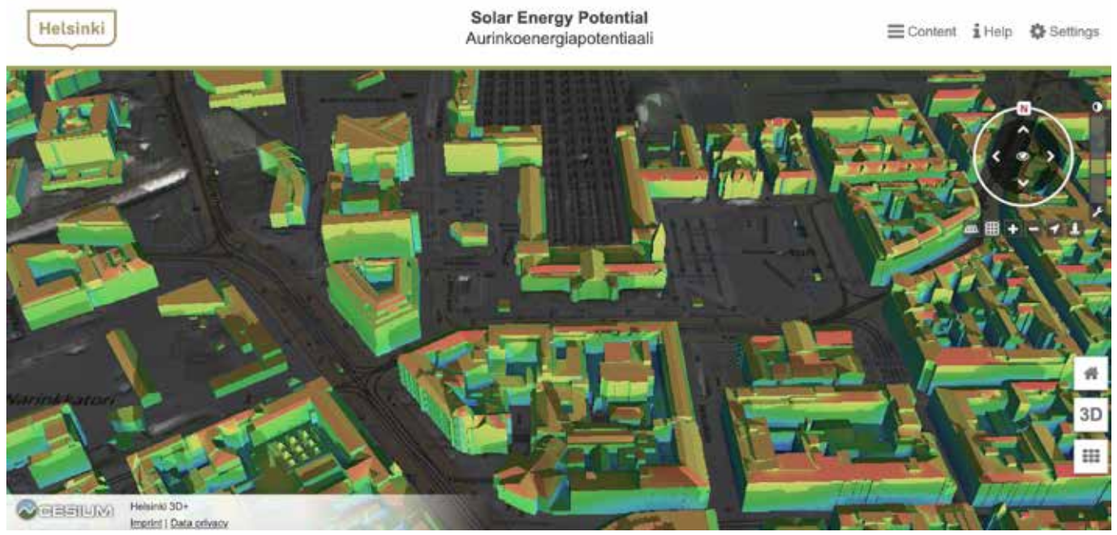
La città di Helsinki collega tutti i suoi edifici con i relativi sensori ad una piattaforma, come ad esempio i sistemi di automazione degli edifici, quelli dell'aria interna, i contatori dei rifiuti, dell'energia e dell'acqua, nonché la tecnologia delle telecamere per monitorare l'uso e l'occupazione di un edificio.

Un esempio è Kalasatama, il quartiere più avanzato fino ad oggi, dove tutti gli edifici saranno collegati alla rete urbana di riscaldamento e condizionamento reversibile, alimentati da immense pompe di calore e che recuperano energia dalle acque reflue della città. Gli edifici devono anche integrare una rete energetica intelligente per beneficiare dell'energia del sole e sono dotati di attrezzature per lo stoccaggio dell'elettricità in modo che le persone possano generare almeno il 30% della propria energia e vendere il loro surplus. Già ben servita dai mezzi pubblici, Kalasatama offrirà alloggi, negozi, uffici e spazi di svago e culturali, tutti vicini tra loro e uno degli obiettivi di questo progetto è quello di ottenere un'ora in più di tempo libero al giorno per ogni abitante. La costruzione del centro di Kalasatama è iniziata nel 2011 e dovrebbe essere completata alla fine di quest'anno.

Nel 2009, Helsinki è stata tra le prime capitali a iniziare a pubblicare i propri dati come dati aperti. Inoltre le reti di dati 5G si stanno espandendo in Finlandia, offrendo nuove opportunità con l'internet delle cose e la mobilità intelligente, ad esempio la navigazione di autobus a guida autonoma e sensori di rete in tutta la città, compresi i sensori di qualità dell'aria.

La città ha digitalizzato tutti gli aspetti della sua pianificazione, costruzione e manutenzione. I primi modelli virtuali 3D di edifici a Helsinki erano stati creati negli anni '80. Prima dell'inizio del millennio, la modellazione della città non solo richiedeva tempo, ma era anche costosa: il lavoro doveva essere svolto manualmente e l'elaborazione dei dati coinvolti era molto complessa.

Le tecnologie di modellazione della città, la scansione laser, l'elaborazione



a sinistra:
modello di informazioni sulla città di Helsinki, https://kartta.hel.fi/3d/#/

in basso:
analisi dell'energia potenziale sulla città di Helsinki, https://kartta.hel.fi/3d/solar/#/

della nuvola di punti e la fotografia aerea obliqua sono progrediti notevolmente durante il primo decennio del 21° secolo. Nel 2010 la modellazione della città ha continuato ad avanzare grazie alla standardizzazione, come le interfacce dei servizi dati e CityGML[52].

Oggi sono infatti disponibili due modelli 3D della città di Helsinki, in particolare del quartiere di Kalasatama: un modello semantico di informazioni sulla città e un modello mesh di realtà visivamente di alta qualità.

Il modello di informazioni sulla città consente agli utenti di eseguire una serie di analisi incentrate, ad esempio, sul consumo di energia, sui gas serra o sull'impatto ambientale del traffico. Si basa sulla mappa della città e sui dati spaziali, registri, nuvole di punti da scansione laser, fotografie aeree e modelli di informazioni sugli edifici, i quali sono stati inseriti alla giusta posizione trasferendo le loro impronte dalla mappa di base del piano al modello digitale del terreno. Il modello informativo attualmente include gli edifici e la forma del terreno, ulteriori oggetti, come corpi idrici, ponti e alberi, verranno aggiunti in futuro.

Il modello mesh della realtà invece può essere utilizzato in vari servizi online o come base per tutti i tipi di progetti di design, come ad esempio la pianificazione delle vie di uscita e le posizioni delle fasi di spettacolo e dei banchi di vendita per eventi cittadini. Si basa su fotografie aeree della città scattate nell'estate del 2015 ed è stato prodotto utilizzando un'applicazione che ha convertito le fotografie in mesh di realtà strutturata. Sfortunatamente le superfici riflettenti, specchiate e in movimento non sono modellate correttamente poiché questi tipi di superfici non sono rappresentati accuratamente nelle fotografie aeree.

Helsinki 3D utilizza MicroStation, ContextCapture e OpenCities Map per creare e mantenere l'intera realtà cittadina e i modelli informativi. Inoltre, la scansione laser e la fotogrammetria obliqua assicurano che i modelli della città considerino i dettagli della superficie e del terreno. Utilizza anche LumenRT per produrre i propri video clip da condividere con tutte le parti interessate e il pubblico e OpenCities Planner che consente ai leader delle città e ai decisori di visualizzare meglio l'infrastruttura, migliorando la comprensione dei progetti

[52] CityGML è un modello di dati standardizzato aperto e un formato di scambio per memorizzare modelli 3D digitali di città e paesaggi (Wikipedia).

e l'organizzazione complessiva. L'uso del software di modellazione della realtà ha ridotto significativamente il costo di realizzazione del modello mesh di realtà della città e del modello di informazione semantica della città. Le applicazioni di modellazione interoperabili hanno fornito alla città di Helsinki la capacità di implementare lo sviluppo di città intelligenti, analisi avanzate della città e l'opportunità di partecipare ai progressi in prima linea.

Oggi il progetto *Helsinki Digital City Synergy* cerca di realizzare i vantaggi pratici e versatili di questi modelli, apportando al contempo più valore da essi e creando un Digital Twin della città. Per completare questo progetto in corso, sono stati integrati e utilizzati i modelli per supportare i processi interni e i servizi pubblici, nonché continuare a sostenere gli obiettivi strategici per una città intelligente e sostenibile.

La soluzione digitale aperta della città di Helsinki consente un migliore processo decisionale collegando le giuste informazioni al giusto stakeholder, ad esempio consente ai progettisti di valutare diversi piani e l'impatto di tali piani sulla città prima della costruzione, quindi quando si cercano i permessi, tutte le informazioni sono disponibili direttamente nel modello per rendere il processo più semplice e fluido. Le soluzioni per la città intelligenti consentono inoltre una migliore qualità della vita per i residenti, ad esempio assicurandosi che la costruzione sia meno dirompente e più verde. Con l'accesso aperto ai dati dell'intera città può accedere alle stesse informazioni delle parti interessate del progetto, garantendo trasparenza e migliorando le pubbliche relazioni. Attualmente, i modelli della città vengono trasmessi in streaming in videogiochi, come *Minecraft Helsinki* e questo è vantaggioso perché farà interessare i giovani ai modelli di città nelle infrastrutture, oltre a promuovere il turismo. I dati sono già utilizzati da università e istituti di ricerca, con i suoi modelli di città che sono i secondi set di dati scaricati più popolari.

Helsinki ha aderito al programma di ricerca e innovazione dell'Unione Europea *Horizon 2020* e ha ricevuto finanziamenti per il progetto *mySMARTlife* che porta avanti soluzioni energetiche urbane nuove e innovative e numerosi progetti pilota nell'ambito del quadro su scala commerciale[53].

Gli strumenti sviluppati nel progetto e lanciati nel 2018 sono *Kattohukka* che permette la visualizzazione della perdita di calore dell'edificio e l'Atlante climatico regionale. Il primo è un servizio cartografico che visualizza le perdite termiche degli edifici di Helsinki, un'interfaccia dati completamente aperta con una mappa termografica che rappresenta la radiazione termica superficiale misurata da ciascun tetto utilizzando una termocamera. Il servizio può essere utilizzato dai proprietari di immobili e dalle aziende in fase di progettazione di ristrutturazioni.

L'Atlante climatico regionale presenta i dati energetici degli edifici, come il consumo energetico modellato, il potenziale annuale di energia solare e il potenziale del tetto verde. Dispone inoltre di informazioni di base sull'edificio come il combustibile utilizzato per il riscaldamento, il numero di piani, la superficie, il volume e lo scopo d'uso dell'edificio. I dati con le informazioni sugli edifici selezionati possono essere scaricati ed è inoltre possibile inserire informazioni aggiuntive come il consumo energetico misurato, i dati sui pannelli solari e l'installazione di pompe di calore ad aria[54].

Il progetto è ora un lavoro a tempo pieno per un team di tre esperti. L'architetto Jarmo Suomisto e Kari Kaisla hanno congiuntamente oltre 60 anni di esperienza nella modellazione 3D e nella gestione delle informazioni geospaziali, mentre Enni Airaksinen, City Model Specialist, si è unito al team di recente ed è uno dei pochi specialisti di CityGML in Finlandia.

Lo standard chiave per i modelli di città 3D è CityGML che rappresenta gli oggetti del mondo fisico con quattro aspetti: semantica, geometria, topologia e aspetto. Funzionalmente è diviso in moduli, che forniscono supporto per le definizioni di diversi modelli tematici come l'edilizia, l'uso del suolo, l'arredo urbano e così via. Questo approccio è stato utilizzato quando si estende l'uso del modello al potenziale dell'energia solare, simulazioni di emissione di rumore o testando l'effetto delle inondazioni. La prossima nuova versione 3.0 di CityGML introdurrà nuovi metodi per aggiornare i contenuti dell'intero modello e ciò consentirebbe agli oggetti di avere proprietà dinamiche, ad esempio un numero di persone all'interno dell'edificio al momento attuale o la lettura del contatore dell'acqua al momento del caricamento del modello. Il modello 3D della città di Helsinki riceverà un aggiornamento e diventerà la

[53] GmbH, S., 2020. *Interventions - MySMARTLife.*

[54] Ruohomäki, T., Airaksinen, E., Huuska, P., Kesäniemi, O., Martikka, M. and Suomisto, J., 2018. *Smart City Platform Enabling Digital Twin*. pp.2-3.

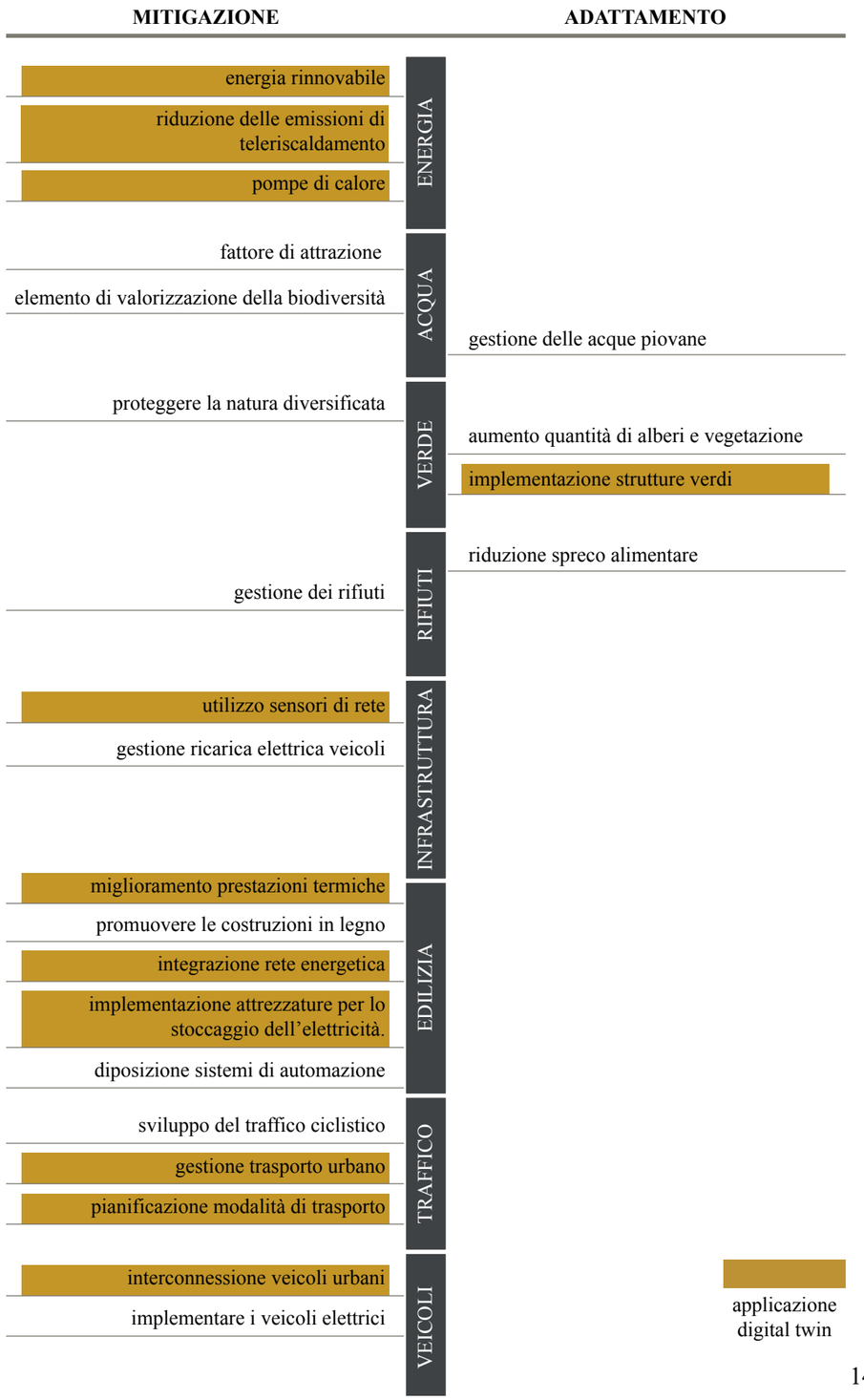
base per tutta la pianificazione urbana in futuro, sperano i costruttori del modello. Nella pianificazione urbana il design 2D si sta muovendo verso il design 3D: si spera che in futuro i modelli 3D a Helsinki possano essere utilizzati non solo come materiale di partenza per tutti i progetti, ma anche per varie analisi.

Un nuovo tipo di design è attualmente in fase di sperimentazione a Kalasatama. Il modello 3D della città può essere utilizzato per simulare nuovi piani e i loro effetti su, ad esempio, traffico, rumore urbano o piccole concentrazioni di particelle. Il primo ad essere utilizzato a Kalasatama è un simulatore del vento, che può essere utilizzato per studiare le condizioni del vento dei blocchi di mare attualmente in fase di progettazione. Sulla base delle simulazioni, le aree problematiche sono facili da risolvere e le soluzioni che si sono rivelate pessime non vanno oltre lo schermo del computer[55].

Nel complesso, la città sta fornendo un'infrastruttura di dati digitalizzati affidabile per supportare iniziative di Smart City sostenibili, creando una migliore qualità della vita per i suoi cittadini e visitatori. La visione di Helsinki è quella di essere la città più funzionale del mondo, il compito fondamentale della città è fornire servizi pubblici di qualità e creare le condizioni per una vita stimolante e piacevole.

a destra:
schema di sintesi
sulle strategie per il
cambiamento climatico
di Helsinki,
a cura di D'Amanzo C.
e Feijoo S.

[55] Uutta Helsinkiä. 2019. *Helsingin 3D-kaupunkimalli tarjoaa uusia mahdollisuuksia kaupunkisuunnittelulle.*



5.2. Zurigo

La città di Zurigo, capoluogo svizzero, è il cuore di una fiorente area metropolitana, la città più grande della Svizzera, nonché un importante centro culturale.
A livello internazionale è ritenuta un centro finanziario leader e grazie all'elevata qualità di vita e alla sua crescita economica. Nell'*indice Global Financial Centres Index del 2021*, Zurigo è stata classificata come il decimo centro finanziario più competitivo del mondo e la terza in Europa dopo Londra e Francoforte.
La città di Zurigo ha vissuto un periodo di sviluppo positivo negli ultimi anni e la sua popolazione è in costante aumento dall'inizio del nuovo millennio. Questa prosperità è stata aiutata da una situazione economica che si è dimostrata relativamente stabile nonostante la crisi finanziaria globale. Allo stesso tempo, la città ha perseguito vari programmi di sviluppo urbano sostenibile, ad esempio rispetto a modelli energetici efficienti sotto il profilo delle risorse, nella sua politica abitativa e nell'area della mobilità. Entro il 2050, due terzi della popolazione mondiale vivrà nelle città, che crescerà del 25% nei prossimi vent'anni, questa crescita demografica metterà Zurigo di fronte a una serie di sfide, poiché l'aumento di abitanti e posti di lavoro porterà alla densificazione e all'uso competitivo del suolo. Contemporaneamente il consumo di risorse nelle città deve diminuire, la qualità della vita dei residenti deve aumentare e le condizioni per le imprese devono essere ulteriormente migliorate. I compiti per l'amministrazione comunale sono diventati più complessi, mentre gli strumenti e i metodi sono spesso basati su approcci tradizionali e statici pur coinvolgendo un limitato numero di cittadini e portatori di interessi nelle decisioni pertinenti. I cambiamenti antropogenici stanno influenzando

A sinistra: Immagine della città di Zurigo.
Fotorografia di Alfonso Cannavacciuolo

sostanzialmente il clima attraverso il rilascio di carbonio nell'atmosfera, effetti biochimici e l'alterazione dei flussi energetici e idrici locali sulla superficie terrestre e la loro interazione con le dinamiche atmosferiche su larga scala L'entità del cambiamento dipende in larga misura dai livelli futuri delle emissioni globali di gas serra, più alte sono le nuove emissioni, maggiore sarà la portata del cambiamento climatico. Se le emissioni aumentano come previsto da uno scenario di emissioni moderate, le temperature aumenteranno nei prossimi decenni in tutte le parti del paese e in tutte le stagioni dell'anno. La Svizzera deve sfruttare le opportunità derivanti dal cambiamento climatico, applicando misure per ridurre al minimo i rischi, proteggere la popolazione, le infrastrutture e il paesaggio naturale e aumentare la capacità di adattamento della società, dell'economia e della natura. Con l'aumento della temperatura media, è probabile che le ondate di calore diventino più lunghe, più frequenti e più intense. Per le popolazioni urbane in particolare, ciò porterà a maggiori problemi di salute. Nelle città l'effetto delle temperature più elevate può essere intensificato localmente: la limitata circolazione del vento nelle aree densamente edificate, la mancanza di ombra e di aree verdi, l'assorbimento dell'irraggiamento solare da parte della grande quantità di superficie sigillata e il calore di scarto dell'industria, degli edifici e dei trasporti creano un'isola di calore urbana, dove le temperature diurne aumentano e il raffreddamento notturno è limitato. Sono già state misurate differenze di temperatura massime fino a 10°C tra le aree urbane e l'area rurale circostante Ci deve essere una più stretta cooperazione tra i settori dello sviluppo territoriale, della salute e dell'energia per affrontare il problema di come adattarsi ai maggiori livelli di stress termico nelle nostre città. Lo sviluppo degli spazi aperti nelle aree urbane è di particolare rilievo; la pianificazione territoriale può garantire spazi aperti sufficienti con uno scopo multifunzionale, come il raffreddamento, la circolazione dell'aria e la ricreazione. L'infrastruttura ecologica è un fattore chiave qui: alberi e aree verdi rompono le superfici sigillate, migliorano gli spazi aperti, creano ombra e hanno una funzione di raffreddamento per il clima locale. La strategia di adattamento dovrebbe consentire alla Svizzera di sfruttare le opportunità offerte dai cambiamenti climatici, ridurre al minimo i rischi

A sinistra: Incredible Flood Water Around Lake Zurich and Along the Limmat in July. https://newinzurich.com/

e aumentare la capacità di adattamento dei suoi sistemi naturali e socioeconomici. Le sfide più importanti derivanti direttamente dagli effetti del cambiamento climatico in Svizzera e alle quali il Paese deve adattarsi sono:

- maggiore stress termico negli agglomerati e nelle città;
- aumento dei livelli di siccità estiva;
- maggior rischio di allagamento;
- diminuzione della stabilità dei pendii e più frequente spreco di massa;
- limite delle nevi in aumento;
- compromissione della qualità dell'acqua, del suolo e dell'aria;
- cambiamento degli habitat, della composizione delle specie e dei paesaggi;
- diffusione di organismi nocivi, malattie e specie aliene.

Il calo dei livelli delle precipitazioni estive colpisce tutti gli utenti dell'acqua, questo aumenta la pressione sulle riserve idriche disponibili, durante lunghi periodi di siccità può insorgere concorrenza tra i vari utenti dell'acqua nei piccoli e medi bacini idrografici. Nel trovare modi per adattarsi alla crescente siccità, occorre prestare attenzione alla riduzione del fabbisogno idrico dei settori colpiti, si includono il trattamento delle acque reflue a un livello più regionale e nel settore energetico si può contrastare il problema con restrizioni alla produzione di energia idroelettrica sfruttando in modo efficiente il potenziale residuo e utilizzando in misura maggiore fonti energetiche rinnovabili aggiuntive[56].

Il probabile aumento degli eventi alluvionali colpisce in misura diversa le aree edificate, gli edifici, le vie di trasporto, le infrastrutture e le aree agricole. Le aree edificate con ampie superfici sigillate che impediscono l'infiltrazione saranno particolarmente vulnerabili. In Svizzera è già stato sviluppato un approccio globale alla protezione dalle inondazioni. Oltre alle misure di sicurezza organizzative e strutturali, ciò include misure di pianificazione territoriale. L'adattamento al crescente rischio di inondazioni coinvolge soprattutto i settori della gestione dei pericoli naturali, dello sviluppo territoriale e della gestione delle acque. La pianificazione del territorio gioca un ruolo fondamentale. In primo luogo, deve garantire che le aree a rischio non vengano edificate. La

[56] Götz, A., Burkhardt, A., Manser, R., Marendaz, E. and Willi, H., 2012. Il Consiglio federale adotta gli obiettivi per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

gestione dell'acqua deve anche guardare a nuovi modelli di prevenzione delle inondazioni, in particolare l'uso polivalente dei bacini idrici e la regolazione dei laghi.

Man mano che il clima si riscalda, l'altezza media del limite delle nevicate aumenterà. Un limite delle nevicate in aumento ha un impatto sul ciclo dell'acqua: le portate aumentano in inverno, poiché meno precipitazioni vengono immagazzinate come neve. Il rischio di inondazioni aumenta e più acqua è disponibile per la produzione di elettricità. All'inizio dell'estate è probabile che le portate diminuiscano a causa dei minori livelli di scioglimento delle nevi. Ciò aumenta il rischio di periodi di siccità e quindi si può produrre meno energia idroelettrica. La produzione di energia idroelettrica deve reagire alle variazioni di portata derivanti dall'innalzamento del limite delle nevicate, adattando il modo in cui vengono gestiti gli invasi.

Il cambiamento climatico può compromettere la qualità dell'acqua, del suolo e dell'aria. La temperatura delle acque superficiali continuerà ad aumentare con l'aumento della temperatura dell'aria. La concentrazione di inquinanti può aumentare in acque poco profonde. Piogge più frequenti e più intense in alcune aree provocheranno una maggiore erosione del suolo, la conseguente perdita di terriccio e la lisciviazione dei nutrienti. La qualità dell'aria potrebbe essere compromessa da un possibile aumento delle aree stabili di alta pressione, che causano maggiori concentrazioni di inquinanti. Temperature più elevate possono portare a maggiori quantità di materia vegetale, ma anche causare una decomposizione più rapida della materia organica.

La strategia di adattamento si concentra sull'uso e la gestione sostenibili delle risorse. Nel campo della produzione di energia, è necessario migliorare i sistemi di raffreddamento. Potrebbe essere necessario rivedere le norme di legge relative all'introduzione dell'acqua di raffreddamento. Nel caso dell'acqua potabile, migliorando la rete e utilizzando diverse risorse idriche.

L'adattamento ai cambiamenti climatici è un processo a lungo termine. La strategia di adattamento si basa sull'attuale livello di conoscenza delle tendenze climatiche future, sui loro effetti e sui possibili metodi di adattamento. Questa base di conoscenze migliorerà con l'avanzare del cambiamento climatico, i progressi nella ricerca sul clima e l'esperienza acquisita. Sarà possibile e necessario valutare e rivedere la strategia di conseguenza a intervalli regolari.

Le nuove tecnologie e la trasformazione digitale offrono nuove opportunità e hanno il potenziale per affrontare queste sfide. Per la città di Zurigo, smart significa connettere persone, organizzazioni e infrastrutture al fine di creare valore aggiunto sociale, ecologico ed economico. La messa in rete di dati, sensori e applicazioni è la base per nuove e più efficienti soluzioni per gli utenti delle infrastrutture urbane.

Inoltre, un dialogo tra l'amministrazione e i suoi cittadini rafforza la partecipazione e la democrazia diretta.

La città di Zurigo è già avviata verso una città intelligente, molti progetti in diversi settori sono già stati realizzati o sono in fase di progettazione. La strategia Smart City di Zurigo fornisce una comprensione e un quadro comuni per le sfide future.

La pressione del rinnovamento urbano deve ora essere assorbita da un processo di densificazione dell'intera città, anche se dovrebbe variare di intensità a seconda dell'area e cercare sempre di preservare l'intrinseca identità e l'individualità dei quartieri della città.

L'efficiente infrastruttura e un'alta qualità di spazi ricreativi sono fondamentali per la qualità della vita in città, pertanto è importante che la città evolva al passo con la crescita. Questi includono un sistema di traffico comunale il più possibile compatibile con l'ambiente, ma anche scuole, ospedali, strutture commerciali e ricreative. La fornitura affidabile di servizi di base deve essere garantita, comprendendo non solo l'approvvigionamento idrico ed elettrico, lo smaltimento dei rifiuti e la raccolta differenziata, ma anche i servizi di polizia, vigili del fuoco e soccorso.

L'elevata qualità ambientale e un approvvigionamento energetico sostenibile sono importanti punti di forza di Zurigo come luogo in cui vivere e fare affari che devono essere salvaguardati per le generazioni future. Il Comune, nell'ambito di diverse strategie come il Piano ambiente, analisi clima, il Piano energetico e il Piano traffico urbano 2025, assicura un'efficace e coordinata

A sinistra: Zürich sustainable transport. https://wwf.panda.org

pianificazione in materia di politiche insediative, viarie ed energetiche anche negli altri ambiti, sempre seguendo il principio di sostenibilità. Sia la popolazione residenziale che il settore commerciale beneficiano di una gestione del traffico efficace e di alta qualità. Ridurre le emissioni di gas serra a livello globale potrebbe arginare efficacemente il cambiamento climatico. Circa la metà dei potenziali cambiamenti climatici in Svizzera potrebbe essere evitata entro la metà del 21° secolo, due terzi entro la fine del secolo. Sebbene le temperature aumenteranno ancora in Svizzera, gli aumenti saranno molto più contenuti che se le emissioni potessero aumentare senza controllo.

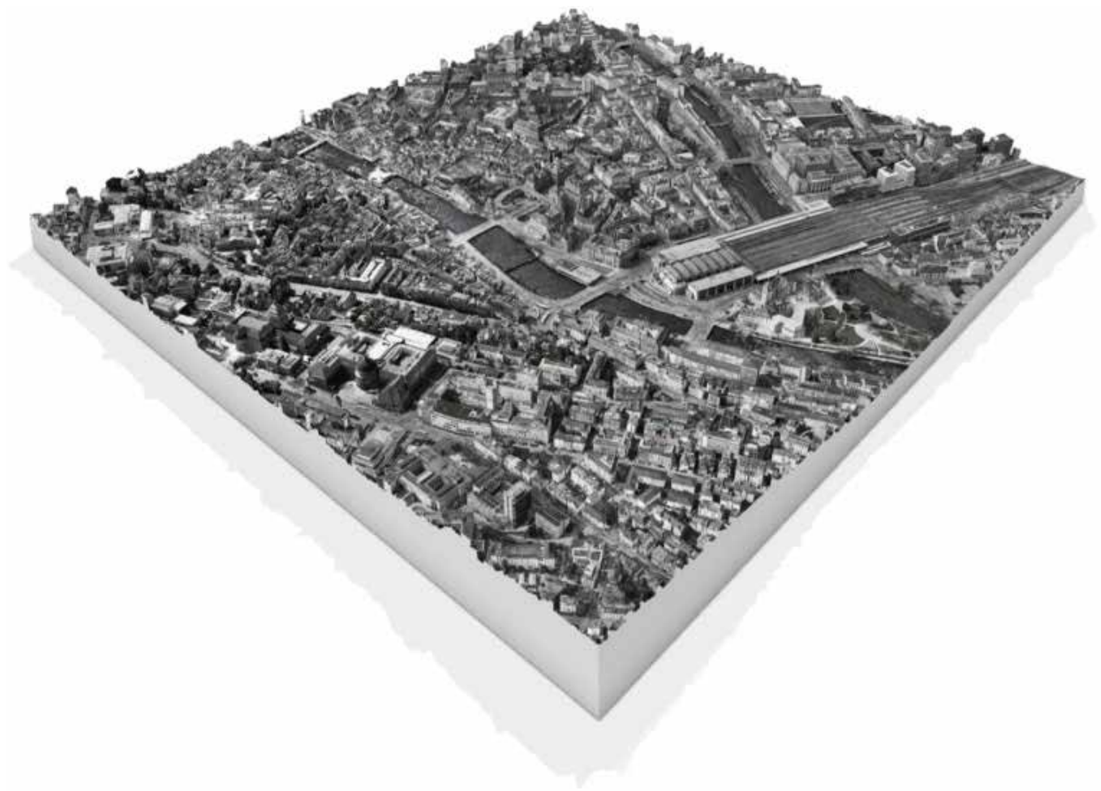
Il concetto della *Società da 2000 Watt* unisce l'obiettivo della politica energetica di ridurre il consumo di energia con l'obiettivo ecologico di ridurre le emissioni di CO_2.

Il Consiglio Comunale si è quindi posto l'obiettivo a lungo termine di tagliare il consumo energetico a 2000 watt per abitante e, entro il 2050, di ridurre le emissioni di CO_2 a una tonnellata per persona all'anno.

Allo stesso tempo è stato deciso che la città di Zurigo dovrebbe rinunciare a qualsiasi nuovo investimento nel nucleare, questo pone la città di fronte ad alcune grandi sfide.

Anche l'auspicata riduzione del consumo energetico rappresenta una sfida complessa e richiede un cambiamento fondamentale nel modo in cui l'energia viene utilizzata. A 4200 watt, il consumo di energia primaria per persona in città oggi è ancora più del doppio dell'obiettivo di 2000 watt. I risparmi realizzati grazie a miglioramenti e innovazioni tecniche sono spesso annullati da forme di consumo aumentate o variabili, o da usi non corretti. La rivoluzione digitale sta cambiando anche il rapporto tra autorità pubbliche e popolazione, pertanto la città di Zurigo deve quindi esaminare come le responsabilità e il servizio pubblico possono essere migliorati con le nuove possibilità tecniche a loro disposizione.

Oltre alla riduzione delle emissioni di CO_2, c'è anche la accurata ricerca di uno spazio vivibile più vicino alla natura, oltre a diversi progetti incentrati sulla valorizzazione dei rifiuti, la mobilità e l'ottimizzazione dei processi operativi.



A sinistra: Wingtra creates stunning digital twin of Zurich. https://wingtra.com

Un’altra priorità è l’offerta di mobilità pubblica della città di Zurigo che deve espandersi in modo da risparmiare risorse ed essere disponibile per gli utenti, ad esempio, con la sostituzione degli autobus diesel con filobus o autobus elettrici, creando una piattaforma di mobilità per la regione.
Il consiglio comunale vuole guidare in modo significativo la digitalizzazione nell’amministrazione cittadina a vantaggio della popolazione e delle imprese, quindi, questa strategia include l’espansione dell’accesso online urbano.
Nell’ambito della *Pianificazione settoriale per la riduzione del calore,* sono stati analizzati gli effetti degli edifici progettati sui flussi di aria fredda della città per aree urbane selezionate. L’analisi è stata condotta con un modello 3D basato su GIS, che è stato costruito con vari dati del Digital Twin, come il terreno, gli edifici esistenti e pianificati e le posizioni degli alberi. Sulla base di modelli climatici su microscala, l’effetto ostacolo degli edifici potrebbe essere determinato e confrontato con lo sviluppo attuale. L’analisi ha mostrato che, a seconda delle caratteristiche spaziali come lunghezza, larghezza, altezza, posizione, i nuovi edifici hanno un’influenza dimostrabile su fattori climatici rilevanti come temperatura, vento e portata di aria fredda. Grazie a dati affidabili del Digital Twin, le questioni climatiche possono ora essere meglio integrate nel processo decisionale di pianificazione. Insieme ad altri fattori come rumore, traffico, pianificazione urbana, il clima si sta affermando come base aggiuntiva per il processo decisionale nelle procedure di pianificazione. A Zurigo, i risultati degli studi climatici supportati dal GIS verranno ora utilizzati, ad esempio, per decisioni varianti su progetti di costruzione del settore pubblico. Oltre all’attuale sviluppo, la città di Zurigo ha quindi recentemente integrato la pianificazione edilizia nel Digital Twin rendendolo così utilizzabile in modo ottimale per applicazioni come l’analisi del clima. I primi esperimenti con dati spaziali sono stati effettuati già negli anni ‘90, anche se il modello della città 3D definitivo è stato creato nel 2011. Nello sviluppo sono stati coinvolti ETH Zurigo, Fachhochschule Nordwestschweiz e TU Monaco di Baviera
L’obiettivo dei modelli digitali è una rappresentazione della città per simulare questioni come la pianificazione urbana nel cambiamento climatico.

A sinistra: 3D city model with terrain, block and roof model. Fonte City of Zurich.

A tal fine, i componenti del Digital Twin devono essere aggiornati con intervalli diversi ed essere arricchiti con dati in tempo reale. Le nuove applicazioni portano più comprensione, domande più mirate e quindi risposte comprensibili ad argomenti rilevanti per il futuro. Il digital twin apre nuove opportunità all'amministrazione comunale per coinvolgere la popolazione alla partecipazione attiva nella pianificazione. Uno strumento 3D interattivo basato sul web è stato utilizzato per testare un'altra forma di partecipazione digitale all'interno della città. A seconda del livello di dettaglio e di automazione, nonché del tipo di connessioni e informazioni, il componente del gemello digitale può raggiungere caratteristiche diverse. Gli sviluppi sono stati gestiti dal GIS Città di Zurigo e realizzati insieme a 25 dipartimenti di servizi della Città di Zurigo, infatti il libero accesso ai dati amministrativi ne semplifica enormemente l'utilizzo.

Oltre alle consuete funzioni di navigazione, l'applicazione offre una vasta gamma di semplici strumenti di progettazione. All'interno dell'area, gli utenti possono progettare le proprie idee disegnando e quindi sottoporre il modello finito all'amministrazione comunale. Un passo importante è il rilascio di dati spaziali 3D in *Open Government Data*[57], ciò consente lo sviluppo di applicazioni, la promozione della comprensione e semplificazione della creazione di diverse piattaforme collaborative. Per visualizzazione e analisi di prototipi digitali e dimostrazione delle interazioni con l'ambiente costruito, gli scenari possono essere digitalmente sviluppati e discussi negli organi decisionali. Le domande sul clima urbano possono essere simulate con l'aiuto del Digital Twin e i risultati possono essere collegati ai dati spaziali 3D esistenti. Pertanto, il set di dati spaziali 3D, i modelli e le descrizioni tramite metadati diventano il riferimento e devono essere aggiornate secondo i requisiti. La descrizione dei dati spaziali 3D dei loro modelli e la gestione del ciclo di vita del Digital Twin devono essere eseguiti con grande cura. Solo in questo modo i processi decisionali possono essere supportati in modo comprensibile. L'ostacolo alla partecipazione attiva è quindi minore rispetto alle procedure di partecipazione tradizionali, dove è richiesta la presenza ad un evento organizzato dall'amministrazione comunale in un determinato momento.

[57] Con Open Government si intende una modalità di esercizio del potere, basato su modelli, strumenti e tecnologie che consentono alle amministrazioni di essere "aperte" e "trasparenti" nei confronti dei cittadini (Wikipedia).

Negli ultimi 10 anni, i dati spaziali 3D si sono affermati sempre più come soluzione per le attività spaziali, come molte altre città, Zurigo utilizza il suo modello di città virtuale in diversi settori tra cui:

- ambiente, per il rumore , l'inquinamento atmosferico, la simulazioni di alluvioni e inondazioni;
- energia come l'analisi del potenziale solare e il calcolo della copertura della rete mobile;
- pianificazione urbana, per la visualizzazione di progetti di costruzione, il calcolo dei flussi d'aria, analisi dell'ombra e della visibilità.

La trasformazione digitale di sempre più pezzi della progettazione e il processo decisionale renderanno entrambi sempre più illustrativi, e quindi più comprensibili Per la città di Zurigo, il Digital Twin significa coerenza e arricchimento dell'inventario dei dati territoriali 3D, una aggiunta alla modellazione e alla descrizione dei dati, una gestione del ciclo di vita dei singoli componenti dell'intero inventario dei dati, nonché un collegamento immediato con i cittadini. I dati spaziali 3D sono la base per collegare ulteriori dati territoriali o altri dati. Ove opportuno, elementi della realtà sono legati al mondo digitale in tempo reale. I processi di digitalizzazione della realtà sono estesi alla terza dimensione. Quasi 20 anni fa, la necessità di coordinamento nel campo dello spazio l'informazione in città è stata riconosciuta, di conseguenza, progetti di informazione territoriale approfonditi sono stati attuati congiuntamente alle basi per i dati spaziali urbani e infrastrutturali. Poiché l'influenza della città di Zurigo sul cambiamento climatico globale è limitata, è necessario attuare misure di adattamento al clima urbano per contrastare il surriscaldamento locale.

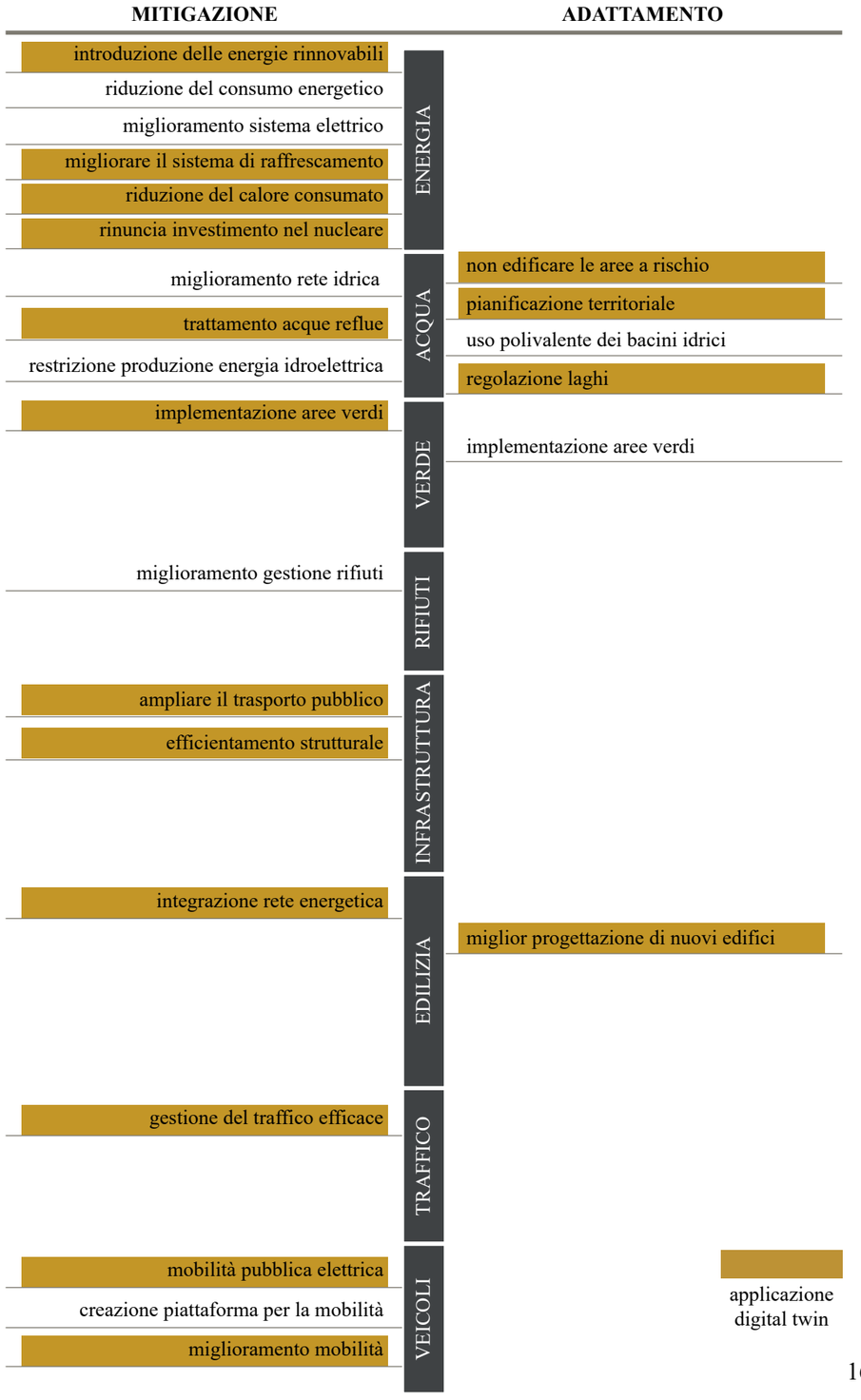
La strategia *Smart City Zurich* crea un quadro per sfruttare in modo ottimale le opportunità offerte dalla trasformazione digitale. Il collegamento in rete intelligente di dati, sensori e applicazioni consente soluzioni nuove e più efficienti per gli utenti e per il funzionamento delle infrastrutture. Il rafforzamento della rete promuove il contatto tra la popolazione e l'amministrazione, nonché opportunità di partecipazione. La strategia rafforza così la messa in rete di politica, economia, scienza, cultura e società a beneficio di tutti.

In questi anni saranno avviate le seguenti azioni per migliorare il gemello digitale esistente della città di Zurigo:

- generare dati 3D più e meglio interconnessi;
- aggiornamento più rapido dei dati esistenti;
- registrazione sistematica dell'arredo urbano;
- migliore interconnessione del mondo BIM e GIS;
- rilevamento e manutenzione delle parti interrate dell'edificio;
- costruzione di un catasto 3D delle utenze.

Il gemello digitale sarà utilizzato per testare diversi scenari per la pianificazione futura, ad esempio per quanto riguarda i cambiamenti di densità e i loro effetti sul clima urbano o su traffico e mobilità. Questi risultati apriranno nuove possibilità di discussione e processo decisionale all'interno dell'amministrazione e dei partecipanti esterni al progetto. Inoltre, aprirà nuovi modi per i cittadini di conoscere progetti e argomenti in città e di essere coinvolti[58]. Oggi nella città di Zurigo, dove circa il 40% dell'energia viene consumata dal funzionamento degli edifici, le ristrutturazioni energetiche e il rinnovo del patrimonio edilizio, sono diventate molto importanti. Ma questo solleva interrogativi anche sul finanziamento e sulla compatibilità sociale delle ristrutturazioni e dei rinnovi per i proprietari come per il comune. In altre parole, c'è un'importante dimensione sociale nella rivoluzione delle energie alternative, la popolazione e le imprese della città di Zurigo contribuiscono alla protezione del clima globale.

[58] Schrotter, G. e Hürzeler, C., 2020. Il gemello digitale della città di Zurigo per l'urbanistica. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 88(1), pp.99-112.



A destra :Schema di sintesi sulle strategie per il cambiamento climatico di Zurigo.
Elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo

5.3. Monaco

Monaco di Baviera è la capitale e la città più popolata dello stato tedesco che ospita 6 milioni di persone, è la terza città più grande della Germania, dopo Berlino e Amburgo, e la dodicesima città più grande dell'Unione Europea. Monaco è consapevole della responsabilità che comporta l'aumento incontrollato previsto della popolazione mondiale, pertanto in un'epoca di globalizzazione, la città ha sviluppato politiche basate sull'internazionalità, la sostenibilità e la solidarietà. Una pianificazione urbana sostenibile, con strutture rispettose dell'ambiente e dell'uomo per lo spazio e le abitazioni, nonché concetti completi per edifici a risparmio energetico e di risorse, saranno assolutamente essenziali per le città e l'architettura del futuro. La città di Monaco si è posta l'ambizioso obiettivo di essere carbon neutral entro il 2035. La pianificazione e lo sviluppo urbanistico giocheranno un ruolo chiave in tutte le sue misure: Monaco sta riqualificando le sue aree esterne, ridistribuendo il suo spazio pubblico e incoraggiando tutti i cittadini a partecipare al suo sviluppo. La città sta promuovendo la mobilità sostenibile e sviluppando quartieri carbon neutral. Sta creando alloggi a prezzi accessibili, garantendo sedi per le imprese e garantendo un buon accesso all'istruzione e all'assistenza sanitaria. Monaco agisce con uno scopo reale, perché il tempo è essenziale. Potremo limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C, come previsto dall'Accordo di Parigi, solo se tutti faranno la loro parte. Monaco di Baviera aderisce a un modello economico rispettoso dell'ambiente, preferendo la sostenibilità a lungo termine agli effetti a breve termine. Le economie sostenibili garantiscono la base per i mezzi di sussistenza delle generazioni future. Generano stabilità economica, ecologica e sociale e incoraggiano esperti economici innovativi ed ecologicamente avanzati.

A sinistra: the city, panorama, Munich. https://www.wallpaperflare.com

La città mantiene i suoi obiettivi sulla sostenibilità, anche l'amministrazione comunale e le aziende municipali stanno facendo progressi con i propri progetti. Il cambiamento climatico, la scarsità di risorse e le mutevoli circostanze ambientali rappresentano un'enorme sfida per l'uomo e la natura, che dobbiamo affrontare con urgenza e sistematicamente. In Baviera, gli ecosistemi sensibili stanno già subendo un impatto significativo. Le città sono fortemente colpite, ma hanno anche un potenziale inutilizzato per mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici e per adattarsi ad essi. A differenza della mitigazione dei cambiamenti climatici, in cui l'obiettivo è ridurre le emissioni di gas serra come obiettivo prioritario e quantificabile, l'adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici riguarda l'obiettivo a lungo termine meno chiaramente focalizzato di ridurre la vulnerabilità delle risorse naturali, sociali ed economiche. sistemi e mantenere e migliorare la loro capacità di adattamento. Pertanto, l'obiettivo delle strategie eco-politiche è quello di mitigare il cambiamento climatico il più rapidamente e intensamente possibile mentre allo stesso tempo mirano ad adattarsi agli impatti già evidenti del cambiamento climatico, o reagire in modo preventivo. La strategia tedesca crea un quadro per l'adattamento alle conseguenze del cambiamento climatico in Germania, fornisce principalmente una guida per i soggetti interessati e persegue un approccio integrato alla valutazione dei rischi e delle esigenze di azione, sostenendo lo sviluppo sostenibile. L'obiettivo della strategia di adattamento è ridurre la vulnerabilità alle conseguenze del cambiamento climatico, mantenere o migliorare l'adattabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici e sfruttare ogni opportunità. Le precipitazioni sono un'area in cui si possono osservare cambiamenti in Germania. Rispetto all'inizio del XX secolo, la media regionale delle precipitazioni medie annue in Germania è aumentata di circa il 9%. Le precipitazioni in 11 degli ultimi 15 anni sono state superiori alla media. Inoltre anche i ghiacciai montani e il manto nevoso mostrano una marcata diminuzione sia nell'emisfero settentrionale che in quello meridionale. Un altro esempio è il livello del mare. Durante il XX secolo l'innalzamento mondiale del livello del mare è stato in media di circa 17 cm. Le ragioni di ciò sono l'espansione dell'acqua di mare dovuta al riscaldamento globale e allo

A sinistra: Germany floods “very likely” linked to climate change: Munich Re’s Rauch. Fonte EPA.

scioglimento dei ghiacciai, delle calotte polari e delle calotte glaciali continentali. I possibili impatti dei cambiamenti climatici sul regime idrico si manifestano nelle tendenze a lungo termine, e anche nell’aumento della frequenza di eventi estremi ad esempio inondazioni, mareggiate e siccità. Gli effetti del cambiamento climatico intensificano anche le differenze regionali esistenti nella disponibilità di acqua. Il cambiamento climatico aumenta le sfide coinvolte nelle complesse interazioni degli usi dell’acqua e questo crea un’ampia gamma di esigenze di adattamento per la gestione delle risorse idriche, il controllo delle inondazioni e la protezione delle coste. Le precipitazioni più frequenti o più intense dovute ai cambiamenti climatici influiscono sul traffico stradale, ad esempio a causa di problemi di vista e strade bagnate. Frane e sottosquadri portano alla destabilizzazione e alla distruzione di tratti stradali e ferroviari. I temporali possono causare ostacoli diretti o danneggiare strade, binari ferroviari e linee elettriche. Le ondate di calore durante i mesi estivi possono produrre un aumento del numero di incidenti, poiché la concentrazione generalmente diminuisce a temperature più elevate. Monaco sostiene progetti per la generazione di energie rinnovabili e opera sul campo per promuovere il business sostenibile. Per sostenere il raggiungimento di questo obiettivo di riduzione delle emissioni, nel 2008 è stato creato anche il Programma d’azione integrato per la protezione del clima di Monaco con corrispondenti strutture organizzative all’interno dell’amministrazione. Per raggiungere obiettivi ambiziosi di protezione del clima compatibili con l’obiettivo nazionale di riduzione delle emissioni fino al 95% entro il 2050 rispetto al 1990 o con l’obiettivo globale di 1,5°, sono necessari sforzi molto maggiori rispetto a prima. In definitiva, si tratta di rimodellare la società e l’intero sistema energetico. La città è già stata premiata per i suoi sforzi, nel concorso nazionale, la capitale bavarese ha vinto un premio per il suo progetto *München für Klimaschutz* (Monaco per la protezione del clima)[59], in corso dal 2007. Il progetto è una rete per lo sviluppo di nuove idee e strategie applicative per la protezione del clima. L’esempio dell’amministrazione comunale di Monaco di una politica di approvvigionamento sostenibile è ora utilizzato da più di 150 altre città tedesche. Per aiutare a proteggere l’ambiente e il clima, la società di servizi municipali

[59] Stadtwerke München GmbH (SWM) è una delle più grandi società di servizi e servizi municipali, offre prodotti di elettricità e gas naturale a clienti privati e aziendali in tutta la Germania, è una componente centrale della strategia aziendale dal 2008 nell’espansione delle energie rinnovabili (Wikipedia).

di Monaco *Stadtwerke München* (SWM) ha avviato un'importante campagna di espansione per le fonti di energia rinnovabile. Entro il 2025, SWM mira a produrre abbastanza elettricità verde nelle proprie centrali elettriche per coprire il 100% della domanda della città. Monaco sta lavorando per affermarsi come uno dei comuni più rispettosi del clima della Germania; un obiettivo che è stato convertito in legge dal governo della città nell'estate 2010, attraverso un progetto di azione integrata sulla protezione del clima a Monaco di Baviera *Integriertes Handlungsprogramm Klimaschutz in München* (IHKM)[60], la città sta affrontando questioni ambientali e climatiche a lungo termine, riducendo drasticamente anche le emissioni di CO_2. Come primo passo, sono state risparmiate oltre 500.000 tonnellate di CO_2 tra il 2010 e il 2012. Al più tardi entro il 2030, l'obiettivo è dimezzare le emissioni di CO_2 pro capite della città, rispetto ai dati del 1990. L'obiettivo a lungo termine della Germania e dell'Unione Europea è quindi quello di limitare l'aumento della temperatura media globale a 2°C al di sopra del livello preindustriale, il che richiede una sostanziale riduzione delle emissioni di gas serra. Anche con un aumento limitato della temperatura di questa portata, le conseguenze ambientali, sociali ed economiche del cambiamento climatico già in atto faranno sentire i loro effetti. Se viene raggiunto l'obiettivo di 2°C, ci si aspetta che sia possibile mitigare le conseguenze mediante misure di adattamento appropriate e tempestive, evitando così gravi conseguenze. Se non si riesce a limitare l'aumento della temperatura, si possono prevedere effetti dannosi sostanziali. I livelli di emissione dipendono da numerosi fattori, tra cui in particolare le tendenze di crescita della popolazione e i futuri cambiamenti nell'uso del suolo, il ritmo della futura crescita economica, le tendenze dell'energia e lo sviluppo e l'applicazione di tecnologie. Inoltre non è possibile al momento determinare l'impatto climatico delle varie emissioni di gas serra o dei complessi processi di feedback che avvengono nell'atmosfera. I ricercatori sul clima prevedono che il cambiamento climatico avrà un impatto crescente sul settore dell'edilizia. Le ondate di calore prolungate in estate, l'aumento delle piogge intense in particolare in inverno e i temporali più forti potrebbero rappresentare una minaccia per gli edifici, le strutture e le relative infrastrutture. Che si tratti di questioni residenziali, trasporti, sviluppo urbano, edifici, energia o approvvigionamento, tutte le aree dell'amministrazione della città vengono controllate per garantire che stiano facendo la loro parte per la protezione del clima. Si stanno sviluppando misure efficaci per ridurre la produzione di CO_2, con l'obiettivo di ancorare la protezione del clima nel modo in cui agisce il governo della città, aggiornando e monitorando costantemente tale azione. Tra gli altri aspetti, la città sta cercando di stabilire gli standard per l'efficienza energetica in edifici nuovi e ristrutturati, ad un livello significativamente superiore al minimo legale nazionale. Quasi metà delle emissioni di anidride carbonica di Monaco di Baviera oggi sono prodotte dal riscaldamento degli edifici. Ecco perché la ristrutturazione degli edifici per migliorarne l'efficienza energetica può contribuire notevolmente alla riduzione delle emissioni. Dato che il ciclo di ristrutturazione degli edifici è di circa 50 anni, è estremamente importante implementare una ristrutturazione di alta qualità basata sullo standard della casa passiva. Mentre un frigorifero o un congelatore inefficienti possono essere facilmente sostituiti, un involucro di edificio mal isolato non può. Gli effetti delle odierne decisioni di ristrutturazione si estendono quindi lontano nel futuro. Nella ristrutturazione di edifici residenziali e di servizi, si presume che lo standard della casa passiva possa essere implementato quasi su tutta la linea. Per garantire che quasi tutti gli edifici siano resi efficienti dal punto di vista energetico entro i prossimi 50 anni, la quota per le ristrutturazioni termiche sarà aumentata dallo 0,5 al 2,0 percento all'anno. Ciò ridurrà il fabbisogno di calore di edifici ristrutturati dall'attuale livello di circa 200 KWhm^2/anno ad un totale di 25-35 kWh/m^2/anno. Per le nuove costruzioni, il fabbisogno termico potrebbe essere anche inferiore perché una grande percentuale di edifici sarà effettivamente costruita secondo lo standard *plus energy*[61], tali edifici producono più energia di quanta ne consumano. Il fabbisogno termico per i nuovi edifici sarà ben al di sotto dello standard attuale. Allo stesso tempo, i nuovi edifici saranno dotati di energia solare, consentendo alla maggior parte di soddisfare il proprio fabbisogno energetico residuo, o anche di

[60] Integriertes Handlungsprogramm Klimaschutz in München (IHKM), è un programma d'azione integrato di protezione del clima della città del monaco (Wikipedia).

[61] Energy-plus-house è un termine che indica una casa che auto-produce energia da fonti rinnovabili (Wikipedia).

A sinistra: Sostainable mobility- made in Germany. https://www.intelligenttransport.com

rimmettere in rete l'energia in eccesso. Si presume inoltre che la maggior parte degli edifici, fino all'85% delle nuove costruzioni e fino all'80% degli edifici esistenti, sarà in grado di soddisfare questi rigorosi standard. In particolare nelle aree di insediamento densamente edificate, gli effetti del cambiamento climatico sono oscurati dagli effetti del clima urbano. Rispetto all'area circostante, il clima nelle città, a seconda del grado di urbanizzazione, tende ad essere caratterizzato da periodi di sole più brevi, temperature più elevate, umidità relativa più bassa, maggiore copertura nuvolosa, velocità del vento medie inferiori e venti più forti, e anche aumento annuale pioggia. Gli effetti del clima urbano con ripercussioni sulla salute potrebbero essere intensificati dai cambiamenti climatici. Anche la pianificazione degli edifici e le strutture tecniche dovrebbero essere adattate per tenere conto dei cambiamenti indotti dal clima. Continuerà ad esserci bisogno di riscaldamento durante la stagione invernale, anche se questo fabbisogno mostrerà probabilmente una leggera riduzione a causa dell'aumento delle temperature.
A Monaco di Baviera oggi, il traffico contribuisce per circa il 15 percento delle emissioni di CO_2: di cui circa 2 punti percentuali provengono dal traffico passeggeri e tre punti percentuali dal traffico merci. La protezione del clima nel traffico è caratterizzata soprattutto dallo spostamento verso una modalità di trasporto rispettose dell'ambiente, dalla prevenzione del traffico e dalla progettazione compatibile del traffico, nonché da strategie basate sulla tecnologia. Un importante esempio è la riduzione di 1.900 tonnellate all'anno di CO_2 della flotta di auto dell'amministrazione comunale. Gli spostamenti per affari in città dovrebbero essere effettuati principalmente con i mezzi pubblici o in bicicletta, mentre saranno acquistate auto con concetti di potenza innovativi, come i motori elettrici. I calcoli mostrano che anche oggi un uso sistematico della tecnologia a basso consumo di carburante potrebbe ridurre il consumo totale della flotta di autoveicoli di circa il 50 percento. Il trasporto pubblico sarà reso più veloce e attraente, attraverso l'utilizzo di sistemi semaforici preferenziali e di corsie o binari speciali per autobus e tram. Nel 2012 sono stati ordinati 6.000 lampioni a risparmio energetico che consumano solo il 50 per cento dell'elettricità dei normali lampioni.

A sinistra:
Munich City, Germany (2019) 3D Mode. https://www.3dcadbrowser.com

Anche ciò contribuirà anche a ridurre i livelli di inquinamento atmosferico in città. Inoltre il 20% di tutti i gas serra sono prodotti dal cibo che mangiamo. La produzione di carne e alimenti freschi causano i maggiori danni, in quanto comportano una serie di azioni che possono aggiungere fino al 29 percento della produzione di gas. Nel luglio 2006, il consiglio comunale di Monaco ha approvato all'unanimità il progetto *Biostadt Munich*: Eco-City Munich, dove gli obiettivi sono una dieta ecologica nelle scuole e negli asili nido, più cibo biologico negli eventi della città e un aumento del numero di ristoranti e pensioni che servono cucina biologica sotto certificazione Un altro ambito affrontato in Germania è la gestione dei rifiuti urbani che è la pietra angolare per lo smaltimento e il riciclaggio dei rifiuti in modo ecologicamente responsabile e a prezzi socialmente accettabili. Con un concetto di gestione dei rifiuti innovativo, ecologico e sostenibile, Monaco è un modello da oltre vent'anni. Il mantenimento della gestione dei rifiuti in mano pubblica è un tema per il quale Monaco continua a battersi a livello nazionale. Nella transizione delle linee guida dell'UE sulla gestione dei rifiuti nel diritto tedesco, la città esercita la sua influenza politica per garantire che i comuni continuino a mantenere la loro responsabilità per la sostenibilità. Il concetto ecologico di smaltimento e riciclaggio dei rifiuti di Monaco risale all'anno 1989. L'obiettivo allora, come lo è ora, era la protezione dell'ambiente attraverso il riutilizzo, il riciclaggio e l'attento smaltimento dei rifiuti, e garantire il mantenimento dell'elevato tenore di vita. Anche l'ambiente circostante è un punto fondamentale della progettazione sostenibile di Monaco: le foreste gestite in modo ecologico svolgono un ruolo fondamentale nella protezione del clima, in quanto durante la crescita, gli alberi assorbono anidride carbonica. La quantità legno utilizzato nei vari settori corrisponde alla quantità di legno che può ricrescere naturalmente, secondo questo principio, ogni anno vengono tagliati circa 50.000 metri cubi massicci di legno. Il corpo forestale comunale si occupa di circa 5.000 ettari di foreste, che gestiscono un totale di 3,4 milioni di tonnellate di CO_2. La gestione idrica è un altro argomento che ha affrontato la città: i cittadini di Monaco di Baviera hanno bisogno di circa 320 milioni di litri d'acqua al giorno

per vivere, per soddisfare questa domanda in modo ecologicamente corretto, la città e la sua società di servizi pubblici SWM hanno sviluppato, nel corso di decenni, tre aree di raccolta dell'acqua che si completano a vicenda e forniscono a Monaco di Baviera alcuni dei migliori prodotti per l'acqua potabile in Europa. La protezione del clima e una gestione sostenibile delle risorse naturali sono tra gli obiettivi più ambiziosi della nostra epoca, pertanto Monaco, con l'aiuto dell'azienda municipale di servizi pubblici ed energia, nel 2015, ha prodotto abbastanza elettricità ecologica nelle proprie strutture per soddisfare le esigenze di circa 800.000 abitazioni private. Ciò equivale a un consumo di circa due miliardi di chilowattora all'anno. Entro il 2025, SWM mira a produrre così tanta energia verde, che l'intera domanda della città, 7,5 miliardi di kWh potrà essere soddisfatta. Per raggiungere questi obiettivi, è stata avviato una campagna di espansione per le energie rinnovabili. Con tutti i progetti attualmente in programmazione o già realizzati, è possibile che 800.000 famiglie potrebbero essere fornite molto prima del tempo. Con la sua campagna di espansione, SWM punta su un ampio spettro di fonti di energia rinnovabile, come l'eolico, l'energia idroelettrica, il solare, le biomasse e le tecnologie geotermiche. Inoltre, l'azienda investe solo in progetti finanziariamente autosufficienti e si ripaga da sola. Parallelamente alla sua campagna di espansione per le energie rinnovabili, l'azienda dei servizi pubblici e della società elettrica di Monaco sta facendo passi da gigante nel suo programma di riscaldamento. La rete di teleriscaldamento di Monaco di circa 600 chilometri è una delle più lunghe d'Europa. Nei prossimi dieci anni, SWM prevede un nuovo carico allacciato di circa 700 megawatt, compreso il consolidamento dei quartieri cittadini già serviti, ciò significa un aumento di circa il 25%, che consente ad altri 120.000 appartamenti e case di beneficiare di energia ecologica e di risparmiare circa 300.000 tonnellate di CO_2. Questa ambiziosa espansione è una chiara priorità per il prossimo futuro. Il teleriscaldamento è stato utilizzato a Monaco dall'inizio del XX secolo, da allora, SWM ha costantemente ampliato la rete di teleriscaldamento. Con il pacchetto di stimolo al coronavirus, la Germania mette a disposizione un ampio pacchetto finanziario per lo sviluppo delle Smart City. In totale, la Germania sta investendo 1.250 miliardi di euro per far progredire lo sviluppo e l'implementazione delle tecnologie urbane. Con il 77% dei tedeschi che vive in città e paesi limitrofi, l'importanza dello sviluppo urbano strategico attraverso soluzioni digitali è ampiamente riconosciuta. La tecnologia che oggi sconvolge la vita urbana ha il potenziale per migliorare la qualità della vita. Soluzioni innovative e un buon processo decisionale sono la chiave del successo. I rapidi progressi tecnologici stanno cambiando quasi tutti gli aspetti della nostra vita. L'approccio Smart City utilizza le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) per collegare le infrastrutture comunali come energia, edifici, traffico, acqua e fognature sulla base di concetti di sviluppo integrato. La trasformazione digitale offre opportunità per muoversi verso la sostenibilità e promuove soluzioni rispettose delle risorse e basate sui bisogni per affrontare le sfide chiave dello sviluppo urbano. Le tecnologie mobili e basate su cloud, IoT, AI (Artificial Intelligence), sensori, robotica e altri sviluppi tecnologici stanno portando a nuovi modelli di business, nuovi modi di pensare e una moltitudine di opportunità Ci sono molti altri fattori che contribuiscono, ma l'industria sta iniziando a riconoscere la necessità di un cambiamento. Mentre l'adozione più ampia del Building Information Modeling (BIM) e dell'open BIM nel settore delle risorse costruite è promettente, altre considerazioni come la crescita della popolazione, l'urbanizzazione e il cambiamento climatico aumentano ulteriormente la pressione per il miglioramento della produttività e della qualità. Una delle tecnologie che ha un enorme potenziale è il digital twin, ad esempio per la gestione dei trasporti e della logistica. Il progetto si concentrerà su casi d'uso innovativi e sulle modalità di partecipazione per approfondire e migliorare le esigenze integrative dei piani di sviluppo urbano. L'idea di un digital twin esiste già in un contesto industriale. La versione urbana assumerà la forma di un modello di città 3D virtuale e interattivo e di una piattaforma di dati urbani collaborativi. I residenti possono utilizzare i dati per aiutare a prendere decisioni migliori e con una tempistica elevata. Il Digital Dwin è una rappresentazione digitale di una risorsa fisica. Può essere creato in parallelo alla sua controparte fisica e abbraccia tutte le fasi del ciclo di vita.

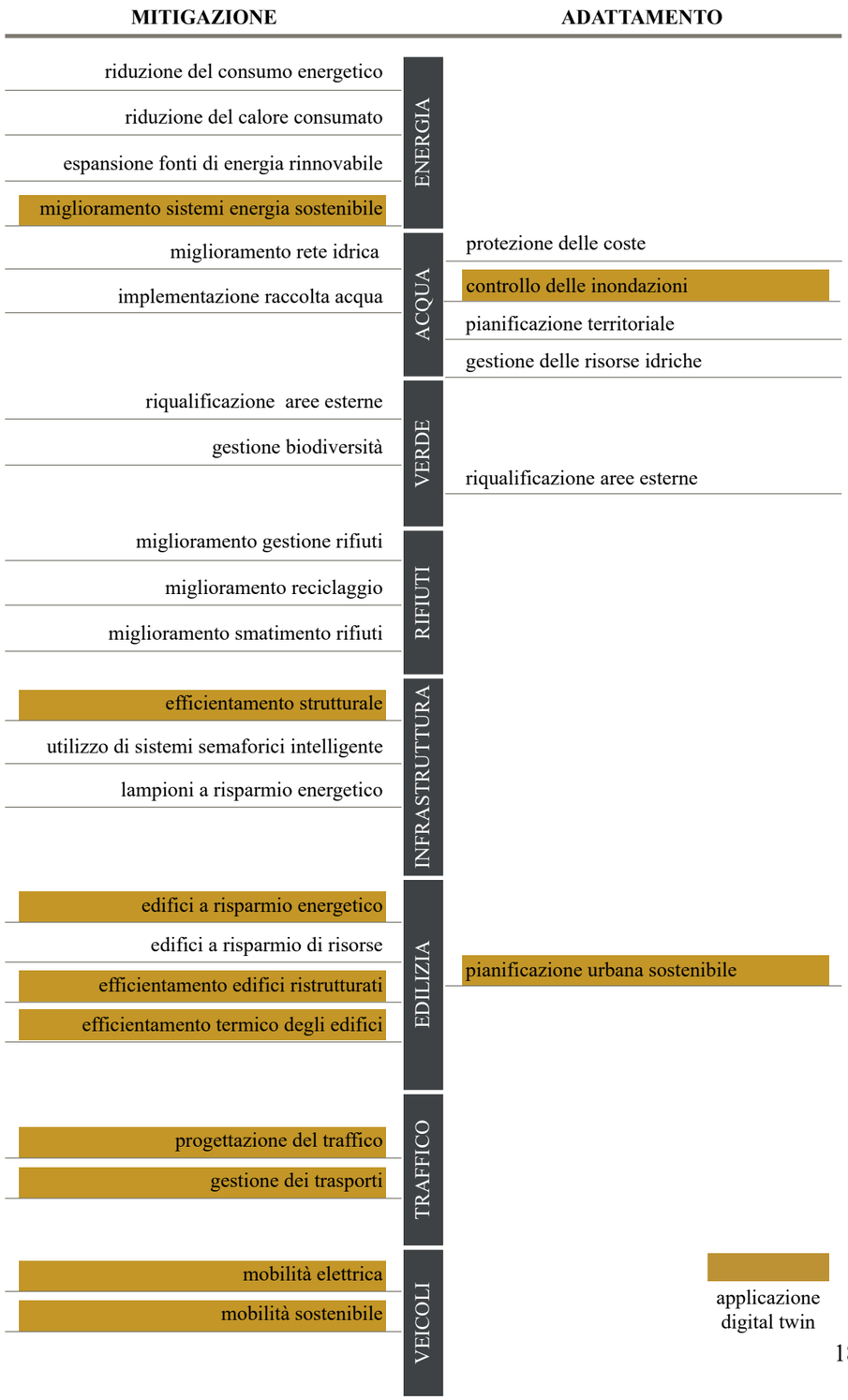
A sinistra:
3D City Model and Augmented Reality in Munich
Munich as Innovation Leader in Visualizing the Future. Di Markus Mohl

lI Digital Twins esistono nella fase di pianificazione e progettazione di un progetto come metodo per una migliore pianificazione, progettazione e costruzione di un progetto. Tecnologie come l'intelligenza artificiale, l'apprendimento automatico, i sensori e l'IoT consentono la raccolta e lo scambio di dati dinamici tra gemelli fisici e digitali. Anziché disporre di aggiornamenti in tempo reale ad alta intensità di risorse, i diversi flussi di dati vengono scambiati a intervalli di tempo corretti. Ciò può includere anche interventi a intervalli just-intime. I Digital Twins possono apprendere, aggiornare e comunicare con la controparte fisica in qualsiasi momento e applicare l'apprendimento dei dati. Sebbene le rappresentazioni digitali di singole risorse fisiche siano preziose, l'idea dei gemelli digitali non è necessariamente limitata a singole istanze. L'integrazione di più Digital Twin consente la creazione di un ecosistema di digital twin. Questa versione estesa può fornire un contesto più ampio e di maggior valore dell'ambiente economico, sociale e naturale. Il gemello digitale diventerà il componente centrale dell'infrastruttura in rete e digitale della Smart City Monaco di Baviera a impatto climatico zero. Ad esempio, con il gemello digitale, sarà possibile in futuro esaminare meglio come un cambiamento negli edifici o nello spazio stradale influenzerà la qualità dell'aria e il clima, quanto traffico viene generato e quanto rumore viene generato come risultato. Attraverso il necessario collegamento in rete delle procedure specialistiche, diversi reparti possono essere inclusi in modo più efficiente nelle analisi, ad esempio nella ristrutturazione edilizia efficiente dal punto di vista energetico o nella pianificazione e realizzazione di nuove aree di sviluppo. In questo modo è possibile simulare in anticipo come tali misure contribuiranno al raggiungimento di obiettivi per l'intera città, come la neutralità climatica. Insieme a Monaco di Baviera, Amburgo e Lipsia stanno sviluppando il digital twin nel progetto *Connected Urban Twins* (CUT), con l'obiettivo di utilizzare i dati digitali per lo sviluppo urbano innovativo e la partecipazione dei cittadini. Nel 2020 Monaco si è aggiudicata contratto per finanziare il progetto congiunto Connected Urban Twins e Urban Data Platforms per lo sviluppo urbano integrato. L'obiettivo è sviluppare nuove applicazioni innovative per lo sviluppo urbano e forme di partecipazione. La base

di questi progetti è il Digital Twin: si trattano di immagini digitali della città, ovvero controparti di oggetti o processi reali costituiti da dati e algoritmi. I digital twins sono collegati al mondo reale tramite sensori. In un contesto urbano, si tratta, ad esempio, di strade, edifici o specchi d'acqua, ma anche i processi amministrativi più astratti possono essere mappati. Da tutti i modelli viene quindi creato un modello di città 3D interattivo e una piattaforma dati di città, che possono essere utilizzati sia dagli esperti che dai cittadini come open source, ovvero come fonte di dati liberamente accessibile. Ciò consente a tutti gli attori coinvolti di prendere decisioni più rapide, migliori e ripensate. Un esempio comune associato al concetto di gemello digitale è il controllo dei flussi di traffico nel senso di mobilità intelligente. I gemelli digitali consentiranno alle città di comprendere meglio le cause degli ingorghi, dell'inquinamento e degli incidenti e di prevedere gli effetti dei cambiamenti al sistema di mobilità prima che vengano introdotti. Cooperazione interdisciplinare e standard intersettoriali tecnologici come l'apprendimento automatico possono aiutare. Sebbene attualmente non vi siano applicazioni mature per i gemelli digitali nel campo della qualità della vita e della salute, una serie di progetti rende possibili progetti di implementazione iniziale e gettano le basi per espansioni e maturazioni successive. Lo sfruttamento di questo potenziale richiede la digitalizzazione e l'interazione di molti sistemi, attualmente indipendenti e spesso sviluppati manualmente o sviluppati storicamente, che sono composti da molte componenti tecnologiche e sociali[62]. Il clima urbano e il suo noto fenomeno, l'isola di calore urbana (UHI), sono di grande interesse per diverse ragioni. Pertanto, negli ultimi anni sono state condotte numerose ricerche Un focus principale è stato dato nell'analisi sulla quantificazione dell'isola di calore urbana e altri fenomeni correlati. Molti parametri giocano un ruolo significativo nella formazione del clima urbano, UHI e dell'arcipelago di calore urbano (UHA), se si analizzano le condizioni termiche intraurbane. UHI e UHA sono principalmente causati da caratteristiche e flussi energetici, che dipendono fortemente dall'aumento delle superfici impermeabilizzate e dall'accumulo di calore nei materiali urbani. Due importanti fattori possono essere utilizzati per quantificare la morfologia urbana per le analisi UHI e UHA: il fattore di visibilità del cielo (SVF) e la relativa area delle superfici impermeabilizzate negli spazi urbani indicata dal fattore di impermeabilizzazione (Fv). L'impatto della SVF è particolarmente importante per quanto riguarda i tassi di raffreddamento notturno, in cui la radiazione a onde lunghe è intrappolata da superfici calde invece di essere rilasciata nell'emisfero del cielo freddo. Tale diminuzione della perdita di radiazioni a onde lunghe è direttamente correlata alla SVF e considerata una componente importante del fenomeno UHI.

Tuttavia, mentre la forma fisica della città è stata rappresentata in modelli 3D, fornendo una visualizzazione grafica degli elementi fisici della città, sono stati sviluppati altri impieghi dei modelli 3D delle città per ulteriori usi come la pianificazione delle infrastrutture, la gestione dei disastri e la domanda di energia. La città si è basata sul GeoPortal esistente e per utilizzare molte informazioni che sono già state raccolte, attraverso queste tecnologie è possibile promuovere idee innovative e utilizzare sinergie attraverso casi d'uso specifici. Il Digital Twin può sviluppare un vantaggio completo solo se è pensato il più integrato possibile tra le varie aree di applicazione o se in una città vengono implementati diversi progetti in rete sulla base dei concetti del gemello digitale. Sebbene questo modello offra ovviamente un grande potenziale per il futuro, ci sono anche alcune limitazioni e sfide da considerare; la fattibilità è ancora in gran parte limitata a determinati campi di applicazione e una rappresentazione completa di un sistema complessivo grande e complesso (ad esempio un'intera città) in tutte le sue sfaccettature rimane per il momento visionaria.L'obiettivo è quello di essere in grado di sostenere la neutralità climatica per l'intera città di Monaco nel 2035 e sviluppare progetti per un futuro urbano e provare nella pratica soluzioni innovative per le Smart City. Ridurre la domanda di energia, aumentare l'efficienza energetica e ampliare le reti di energia rinnovabile: l'approccio energetico a tre pilastri sta plasmando le azioni della città quando si tratta di pianificare nuovi quartieri e riqualificare le aree esistenti. Dopotutto, lo sviluppo urbano gioca un ruolo chiave nella lotta ai cambiamenti climatici, e Monaco vuole dare l'esempio.

[62] Guckenbieh, P., Hess, S., Mumme, M. and Swara, G., 2021. Der digitale zwilling fur smarte stadte - zwischen erwartungen und herausforderugen. munchen: Fraunhofer.



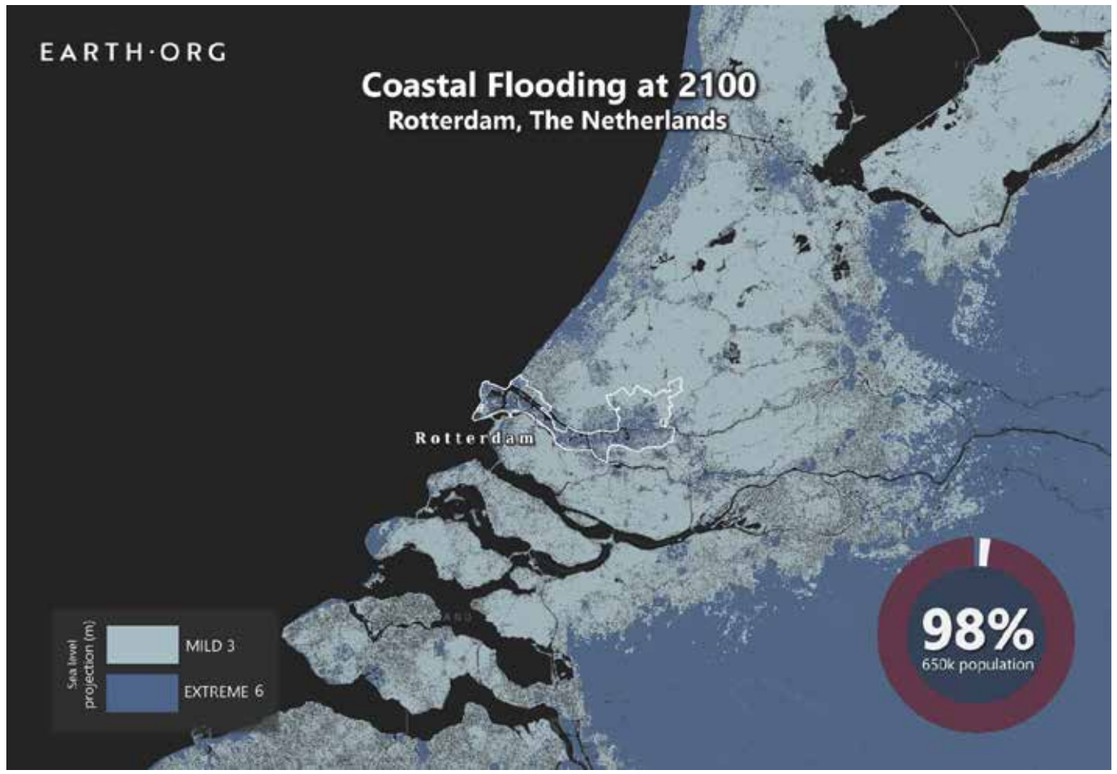
A destra :Schema di sintesi sulle strategie per il cambiamento climatico di Monaco. Elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S.Feijoo

5.5. Rotterdam

La città olandese di Rotterdam è il porto più grande d'Europa e uno dei centri marittimi più importanti del mondo. Spesso definita la "Porta dell'Europa", la città si trova nel delta del Reno ed è stata per secoli un importante centro commerciale. Smart City si adatta anche alle sfide sociali che Rotterdam deve affrontare, come la sicurezza, un ambiente pulito, la mobilità, l'uso economico dell'energia, l'inclusione sociale, la riduzione della povertà e l'occupazione. Rotterdam punta a essere al 100% a prova di clima entro il 2025. Questo è l'obiettivo espresso nel programma di adattamento ai cambiamenti climatici della città. Ciò significa che entro il 2025 saranno già state prese misure per garantire che ogni area specifica sia minimamente perturbata dai cambiamenti climatici sia allora che nei decenni successivi. Inoltre, tutta la pianificazione urbana a Rotterdam terrà conto dei cambiamenti climatici prevedibili a lungo termine, pur tenendo conto degli imprevisti. Al centro della *Rotterdam Climate Adaptation Strategy* ci sono i principi guida per tutti i progetti: fare affidamento su un sistema solido, garantire adattamento e resilienza, lavorare insieme e collegarsi ad altri progetti nella città e creare valore aggiunto per l'ambiente, la società, l'economia e l'ecologia. La città olandese di Rotterdam è stata all'avanguardia nello sviluppo di piani di adattamento ai cambiamenti climatici. Nel 2008, il consiglio comunale di Rotterdam ha ratificato il programma *Rotterdam Climate Proof,* che consiste in tre attività principali: sviluppo della conoscenza, attuazione di misure di adattamento ai cambiamenti climatici e presentazione di Rotterdam a livello internazionale come una città innovativa. La resilienza ai cambiamenti climatici a Rotterdam comporterà innanzitutto una protezione sostenibile contro le

A sinistra: Rotterdam: Leaving behind quaint Holland for a sneak preview of the future. Di Terry Boyd

inondazioni nelle aree all'interno e all'esterno degli argini. Oltre alla gestione delle inondazioni, la città dovrà concentrarsi anche su altri modi per prepararsi alle conseguenze del cambiamento climatico, come tassi di incidenza più elevati delle ondate di calore, aumento delle precipitazioni abbondanti, salinizzazione delle acque sotterranee, modifica delle opzioni di trasporto via acqua e aumento della volatilità dei livelli delle acque sotterranee. Ciò che è essenziale per una strategia adattiva è che sia implementata in modo proattivo e che possa essere adattata alle mutevoli circostanze. La *Rotterdam Climate Adaptation Strategy* (RAS) definisce chiaramente le misure che possono essere adottate per rendere l'area a prova di clima. Rotterdam aveva già implementato una serie di misure efficaci, come un robusto sistema di dighe, barriere contro le inondazioni e un sistema idrico con fognature, canali, stagni e pompe. Alcune delle nuove soluzioni che sono state implementate in città sono: lo stoccaggio dell'acqua extra in nuovi edifici, le piazze d'acqua, i tetti verdi, un centro di conoscenza per edifici galleggianti e misure di protezione dalle inondazioni per edifici e aree esterne. La sfida del cambiamento climatico è incentrata principalmente sull'acqua, infatti il porto di Rotterdam è tra i porti più grandi del mondo: rendere quest'area a prova di clima è quindi fondamentale. Inoltre, gran parte della città si trova sotto il livello del mare ed è quindi a rischio di inondazioni. L'innalzamento del livello del mare non è l'unica sfida legata all'acqua; Rotterdam infatti affronta le questioni idriche su quattro fronti: dal mare, dai fiumi, dal cielo e dal sottosuolo. Rotterdam ha un collegamento aperto con il mare, quindi l'innalzamento del livello del mare colpisce l'infrastruttura portuale della città, ma anche alcune aree residenziali che non sono protette da dighe. La priorità principale sulla diga esterna è di multi-protezione contro le inondazioni a strati basata sulla costruzione adattiva e sulla progettazione. La protezione di Rotterdam, tuttavia, si concentra sulla prevenzione: saranno ottimizzate le barriere per contrastare la mareggiata e, ove necessario, le dighe saranno rinforzate. All'interno delle dighe, la funzione spugna della città sarà ripristinata attuando misure per catturare e immagazzinare l'acqua piovana dove cade e per ritardare il drenaggio. Queste misure includono tetti e facciate



A sinistra:
Sea level rise projections by 2100 for two scenarios with the amount of rise in meters indicated (mild = 3m; extreme = 6m). Percentage and total population displacement indicated bottom right. https://earth.org/

verdi, meno pavimentazione e più flora nelle strade pubbliche e nei quartieri, piazze d'acqua e zone di infiltrazione come parte dell'infrastruttura. Queste misure saranno particolarmente efficaci in zone densamente abitate ed edificate con poco spazio aperto. In quelle parti della città dove c'è più spazio, misure robuste come l'aumento dello stoccaggio dell'acqua, capacità di canali e laghi e costruzione di corridoi verde-blu contribuiranno in modo significativo a rendere la città a prova di clima. Inoltre, si prevede che le precipitazioni estreme diventeranno più frequenti, poiché Rotterdam si trova sotto il livello del mare e ha molte aree pavimentate che accelerano il deflusso, eliminare l'acqua in eccesso è una sfida importante. Rotterdam ha sperimentato progetti nello spirito della sua strategia di adattamento a quattro livelli:

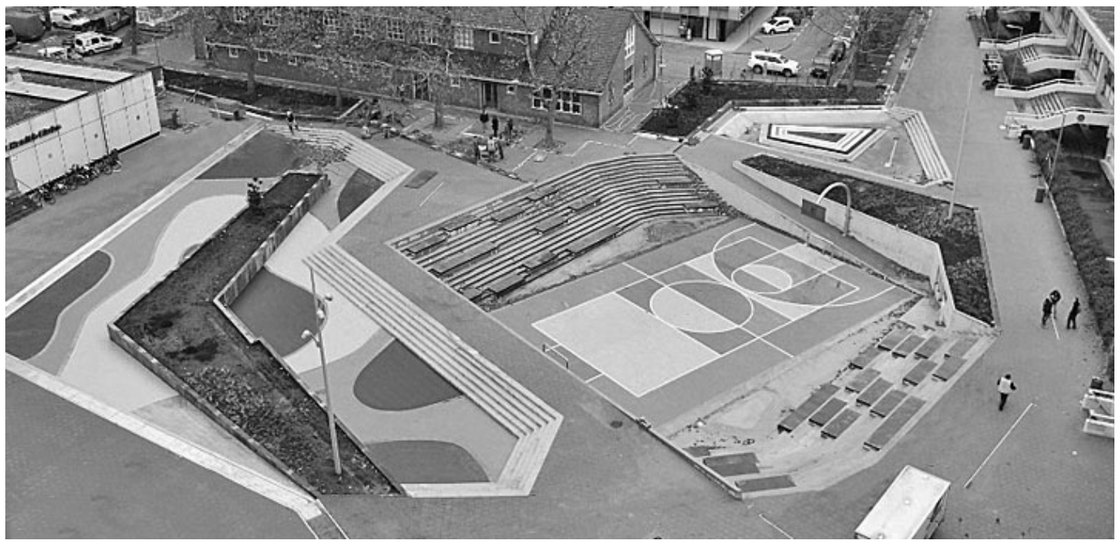
- Per le aree esterne della diga, sono stati sviluppati padiglioni galleggianti e persino alberi che possono muoversi su e giù con il livello dell'acqua.
- Nel centro della città è stata costruita una piazza dell'acqua che è pensata come luogo di incontro del quartiere e come luogo per attività sociali e culturali, ma funziona anche come un grande deposito di acqua in caso di precipitazioni estreme.
- In un'area interna alla diga, a una certa distanza dalla città, lo sviluppo di un deposito d'acqua è stato combinato con un nuovo percorso di canottaggio.
- In uno dei parchi di Rotterdam, chiamato Zuiderpark, è stato creato più spazio per le acque superficiali, ampliando la capacità di stoccaggio dell'acqua, migliorando contemporaneamente la qualità ambientale e offrendo nuove opportunità di svago e di ricreazione.

La strategia di adattamento ai cambiamenti climatici di Rotterdam è a più livelli. Al suo centro c'è il solido sistema di corsi d'acqua, infrastrutture e accordi di governance che è già in atto. La città ha già un sistema ben sviluppato di dighe, chiuse, fognature e stazioni di pompaggio per mantenere la città asciutta. Tale sistema costituisce la base e il punto di partenza per l'adattamento. Oltre alle sfide legate all'acqua, la città di Rotterdam affronta un aumento dello stress da caldo. Le siccità, sono sempre più frequenti e intense, accelerano il processo di subsidenza. Influenzano anche la forza e la stabilità delle dighe di torba, che sono comuni lungo i corsi d'acqua interni. A causa del cambiamento

A sinistra: Rotterdam's "water square" in Benthemplein. Fotografia di stadtlandschaft/CC via flickr

climatico e dell'effetto isola di calore urbana, si prevede che il numero di notti con temperature superiori a 20 gradi Celsius aumenterà notevolmente. In aggiunta agli effetti di un clima più caldo c'è un secondo problema che colpisce il caldo in città: l'effetto isola di calore urbano (UHI), che è il fenomeno per cui la temperatura media dell'area urbana è superiore a quella dell'area circostante aperta, cioè la campagna. Le aree urbane reagiscono in modo diverso alla radiazione solare rispetto all'ambiente rurale, accumulano calore più rapidamente e lo trattengono più a lungo. Pertanto, la temperatura dell'aria è normalmente più elevata nelle città, soprattutto di notte. Durante il giorno la città accumula calore negli edifici, nei marciapiedi, nelle acque superficiali e nel terreno. Dopo il tramonto l'area urbana rilascia lentamente questo calore a causa della capacità termica e della conduttività termica dei materiali da costruzione utilizzati nell'ambiente costruito, prevalentemente cemento e asfalto. L'effetto di raffreddamento naturale della vegetazione è carente nelle città perché la pavimentazione e gli edifici hanno sostituito gran parte delle aree verdi originali. Durante il giorno, la città assorbe e trattiene molto calore mentre di notte questo calore si dissipa più lentamente. Le differenze risultanti di temperatura tra la città e le zone rurali circostanti sono maggiori di notte. Le principali cause dell'effetto UHI sono l'alto livelli di pavimentazione, i materiali utilizzati, la densità delle aree urbane combinate con la mancanza di flora e tratti di mare aperto, che tendono ad avere un effetto rinfrescante. Le misurazioni hanno dimostrato che le aree più fresche di Rotterdam sono quei quartieri con edifici bassi e abbondante vegetazione. Le zone più calde sono le aree del centro città e i quartieri urbani limitrofi.

Temperature più elevate influiscono sulla salute e sul benessere pubblico, è la combinazione dell'effetto UHI insieme ad un clima più caldo che avrà un impatto sulla città e i suoi abitanti. Periodi più frequenti con elevate temperature possono portare ad un aumento dei problemi di salute. Gli anziani e le persone che soffrono di malattie respiratorie sono particolarmente vulnerabili: le temperature più elevate influiscono sul comfort termico della città. La vita all'interno degli edifici, così come all'aperto, diventa significativamente meno piacevole



A sinistra:
Rotterdam – Piazza di Benthemplein. https://cittaclima.it

durante i prolungati periodi di alte temperature. Il consumo di energia aumenterà a causa del raffreddamento extra come l'aria condizionata e dell'irrigazione.

Attraverso lo studio svolto da Hotterdam, nella città di Rotterdam sono stati analizzati diversi fattori che influiscono nell'aumento dell'effetto di isola di calore basati su un modello 3D, come: l'indice dell'involucro edilizio, il volume dell'edificio, il fattore di vista del cielo e l'ombra. Avendo una superficie più calda, l'acqua permetterà alle alghe azzurre e al botulismo di prosperare, che a sua volta si tradurrà in un aumento della mortalità dei pesci e renderà l'acqua pericolosa per il nuoto. Infine anche i ponti, le strade principali e le ferrovie sono vulnerabili alle temperature estreme, mettendo così l'accessibilità della città a rischio. L'adattamento implica che le soluzioni vengano trovate in tutti gli aspetti dell'ambiente urbano che lo rendono possibile per alleviare il sistema e renderlo più resiliente. In oltre al sistema attuale, misure su piccola scala saranno portate nelle arterie della città, sia nel pubblico che nelle proprietà private. L'adattamento al cambiamento climatico fornisce molte opportunità ad esempio per rafforzare l'economia della città e il porto, per migliorare l'ambiente di vita nei quartieri, per aumentare la biodiversità nella città e per incoraggiare i cittadini di Rotterdam ad impegnarsi e a partecipare attivamente alla società.

Nel 1990, il porto di Rotterdam ha rilasciato nell'atmosfera oltre 20 milioni di tonnellate di CO_2. Dal 2016 in poi, il porto ha potuto segnalare riduzioni sostanziali. Nel 2020, le centrali elettriche della città hanno ridotto le proprie emissioni di carbonio di 1,9 milioni di tonnellate, circa il 21% in termini percentuali equivalenti al dato nazionale. Se una parte di questa riduzione è da attribuire al minor consumo di energia, ciò è dovuto principalmente ad un sostanziale aumento, oltre il 40% a livello nazionale della generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili, solare, eolica e biomasse. Le emissioni di carbonio del settore industriale di Rotterdam sono diminuite di 1,1 milioni di tonnellate, circa il 7%, mentre le emissioni industriali a livello nazionale sono rimaste allo stesso livello. Queste emissioni industriali

ridotte sono una conseguenza della contrazione economica nel corso del 2020. Questa crisi ha portato a una riduzione della domanda di petrolio e prodotti chimici, costringendo l'industria locale a ridimensionare le sue attività. La regione di Rotterdam, una delle più grandi zone industriali del mondo, costruita su fondamenta di combustibili fossili, si è posta l'ambizioso obiettivo di dimezzare le proprie emissioni di anidride carbonica entro il 2025 rispetto ai livelli del 1990, sfruttando allo stesso tempo le opportunità di business che le tecnologie possono offrire per la mitigazione del cambiamento climatico. Nel 2019, Rotterdam ha firmato il proprio accordo sul clima, come conseguenza all'accordo di Parigi, fissando l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO2 e di gas serra del 50% entro un periodo di 10 anni. Per fare questo, la città ha adottato centinaia di idee lungimiranti. Questi includono l'investimento in spazi verdi, la razionalizzazione dell'industria, la promozione del design intelligente e l'utilizzo dei dati per risolvere i problemi. Dal 2009, Rotterdam si è evoluta in una smart city pionieristica, trasformandosi da città portuale industrializzata a una delle città più innovative d'Europa. Alcune delle prime applicazioni della tecnologia delle smart city hanno riguardato la sostenibilità, e in particolare il crescente interesse per l'elettricità distribuita e rinnovabile iniziata negli anni 2000. Le reti elettriche convenzionali erano collegate a fonti di energia grandi e spesso non sostenibili come quelle a carbone o a gas. Ma poiché l'energia eolica e solare sono diventate più redditizie dal punto di vista economico e politicamente popolari, i servizi pubblici hanno dovuto capire come consentire a queste fonti più piccole di generazione di energia di accedere alla rete. Il Comune di Rotterdam lavora da molti anni in collaborazione con la comunità imprenditoriale per ridurre il numero di movimenti logistici in città, utilizzando soluzioni intelligenti come combinare i flussi di merci e rendere più puliti i veicoli che devono accedere alla città. L'obiettivo finale è ridurre le emissioni di CO2 e migliorare sia la qualità dell'aria che l'accessibilità in città. Nel 2014, in collaborazione con sette leader logistici e l'organizzazione olandese per la ricerca scientifica applicata (TNO), hanno firmato il patto Green Deal 010 Zero Emission City Logistics (GD010ZECL) con l'ambizioso obiettivo di rendere tutta la logistica nel centro della città esente da emissioni entro il 2020. Il GD010ZECL ha accelerato la transizione verso logistica urbana a emissioni zero e ha offerto spunti sulle opportunità e gli ostacoli lungo quel viaggio. Ora il settore della logistica chiede al governo locale di produrre un quadro e una politica concreti per realizzare una logistica urbana a emissioni zero, compresi i confini geografici e i requisiti di ammissione di una zona a emissioni zero per la logistica cittadina (zona ZECL). Il numero di movimenti di trasporto sarà ridotto all'interno di questa zona e verranno utilizzati solo veicoli completamente privi di emissioni. Un altro argomento affrontato dalla città è la realizzazione di una rete di trasporto del calore nell'Olanda Meridionale, attraverso la quale si fornisce calore alle città, al settore dell'orticoltura e alle imprese utilizzando calore residuo, calore da energia geotermica e da altre fonti di calore locali. Ciò pone le basi per rendere il sistema energetico più sostenibile, garantisce la sicurezza dell'approvvigionamento e funge da catalizzatore per lo sviluppo delle fonti sostenibili locali. Rotterdam vuole un sistema energetico intelligente e affidabile, alimentato da energia pulita ad esempio dal sole, dal vento, dal calore del suolo e dall'acqua. Non solo per generare questa energia pulita, ma anche per immagazzinarla. Nel contesto dello sviluppo sostenibile, la città di Rotterdam sta collaborando con i suoi partner per attuare misure di mitigazione per ridurre le emissioni di CO2, puntando ad essere al 100% a prova di clima entro il 2025. Rotterdam sta facendo un ulteriore passo avanti creando un Digital Twin per la città, che fungerà da piattaforma per una nuova era. Un Digital Twin è un modello 3D intelligente della città che rappresenta accuratamente le strade, gli edifici, gli spazi pubblici e così via della città fisica. I sensori e i flussi di dati intorno alla città alimentano il modello, il che significa che molti elementi digitali vengono aggiornati in tempo reale, come il movimento di persone o veicoli, che possono essere incorporati nel sistema. VirtualcitySYSTEMS nella città di Rotterdam, mostra l'importanza dei modelli di città 3D per la creazione di un gemello digitale. Infatti questa città non è solo uno dei pionieri in Europa quando si tratta di costruire modelli di città 3D, ma ha anche plasmato una visione per lo sviluppo del cosiddetto "Digital Twin Rotterdam": all'interno dell'approccio completamente nuovo, tutti geografici i dati di base della città ei relativi

A sinistra:
Vision on Sustainable Public Transportation. An action plan for the city. http://www.except.nl/ region of Rotterdam

dati specialistici possono essere gestiti in una piattaforma dati centrale in 3D[63]. Un primo modello di città 3D è stato creato nel 2010, ma solo nel 2018 il comune ha fatto un passo avanti e ha creato un gemello digitale per la città, che dovrebbe fungere da piattaforma dati centrale per una nuova era di applicazioni. Per Rotterdam un gemello digitale non è solo un modello 3D intelligente della città costruita, ma anche dei contenuti legali, normativi, sociali e molti altri non fisici. In altre parole, le strade, gli edifici, gli spazi pubblici o le infrastrutture sotterranee sono anche la base per connettere dati in tempo reale e implementare applicazioni smart city. Il modello digitale può anche fornire visibilità in tempo reale del flusso di energia e acqua, lavori di manutenzione o monitorare la posizione dei servizi per rispondere meglio alle emergenze. Tutti i dati che descrivono la realtà attuale della città possono far parte del modello. Combinando il digital twin con il potere predittivo dell'analisi dei dati e dell'intelligenza artificiale (AI), le città sono essenzialmente in grado di avanzare rapidamente nel tempo per migliorare la pianificazione urbana per tutti i tipi di eventi, dagli investimenti infrastrutturali a lungo termine, alle operazioni di servizio quasi in tempo reale. L'intelligenza liberata dal Digital Twin consente alle città di migliorare il proprio ambiente urbano fisico e sociale. Offre anche una soluzione più democratica, come dimostra la sempre più ampia varietà di applicazioni progettate localmente che migliorano notevolmente i servizi alle comunità. Le operazioni antincendio offrono un eccellente esempio di come il Digital Twin stia rendendo le persone più sicure. Quando rispondono a un'emergenza, i vigili del fuoco sarebbero in grado di accedere al modello 3D dell'edificio in cui stanno entrando, fornendo loro la conoscenza dell'ambiente circostante mentre tentano di salvare vite umane e gestire il problema. I servizi di smaltimento rifiuti di Rotterdam possono anch'essi utilizzare il digital twin per portare benefici sia ai cittadini che al governo municipale. I contenitori per rifiuti comunitari dotati di sensori informano le aziende di raccolta dei rifiuti urbani su quanto sono pieni i contenitori dei rifiuti, il che significa che possono ottimizzare i loro percorsi in base alle aree che hanno più bisogno di raccolta. In uno scenario molto più olandese, i ponti che attraversano i numerosi canali di

[63] virtualcityMAP - 3D-Stadtmodelle im Browser.

Rotterdam devono aprirsi e chiudersi per consentire al traffico stradale e idrico di scorrere senza intoppi durante il giorno. Accedendo a un'ampia rete di telecamere e sensori in tutta la città, il Digital Twin della città monitora l'intensità del traffico sia stradale che fluviale per ottimizzare l'apertura e la chiusura dei ponti, garantendo a entrambi il flusso con il minimo disturbo. Un migliore flusso del traffico offre profondi vantaggi a una serie di sistemi urbani, specialmente nelle città afflitte da canali collegati da ponti e infrastrutture simili. Il design della città digitale di Rotterdam è costituito da tre strati. Innanzitutto, ci sono fonti di dati, come mappe della città, progetti di edifici, informazioni sulla rete di trasporto e sensori in tempo reale, che insieme creano il Digital Twin. In secondo luogo, una piattaforma generica che offre le funzionalità di base del modello, a cui possono accedere le parti interessate autorizzate. Infine, è possibile sviluppare applicazioni che sfruttino la potenza del modello per creare soluzioni sia per il mondo sociale che per quello fisico. Rotterdam 3D, il modello digitale, include informazioni del terreno, degli alberi, delle infrastrutture sotterranee, dei semaforie e dei cavidotti[64]. Un esempio di Digital Twin locale è PortForward che è il modello del porto di Rotterdam, include strumenti software che consentono alle autorità portuali di gestire le proprie operazioni portuali in modo più efficiente e sicuro e di ridurre i costi sulle risorse. Incoraggiano la collaborazione e il coordinamento tra tutti gli utenti del porto, consentendo una gestione più rapida di navi, treni e navi interne. Ciò porta a un rafforzamento della posizione competitiva del porto. Considera ad esempio un pianificatore di percorso intelligente che mostra tutte le opzioni di trasporto dalla costa fino all'entroterra. Al porto sono attualmente in fase di installazione diversi sensori che registreranno continuamente i dati relativi a acqua e meteo, vento, temperatura, visibilità, movimenti delle navi e ormeggi liberi. Utilizzando i Digital Twins, la città di Rotterdam è oggi in grado di utilizzare una nuova gamma di applicazioni come l'analisi del consumo energetico, la gestione degli asset dell'infrastruttura sotterranea, le applicazioni di inondazioni urbane, tra le altre cose, per ottimizzare e migliorare i vari aspetti della vita urbana compresa la mobilità e i sistemi sanitari.

[64] 2019. Rotterdam's Digital Twin Redefines Our Physical, Digital, & Social Worlds | Smart Cities Marketplace.

A destra :Schema di sintesi sulle strategie per il cambiamento climatico di Rotterdam. Elaborazione a cura di C. D'Amanzo e S. Feijoo

5.6. Singapore

La Repubblica di Singapore, anche conosciuta come la Città del Leone, è una delle principali città-stato globali. È svantaggiata in termini di posizione geografica, in quanto si trova a solo un grado a nord dell'equatore dove è costantemente caldo e umido tutto l'anno, ed è priva di risorse naturali infatti non ha depositi energetici, foreste e nemmeno fattorie, tuttavia la città è diventata un commercio globale, un'economia asiatica basata sul commercio estero e sul suo pool qualificato di capitale umano. Mentre varie città in tutto il mondo stanno sperimentando il concetto di Smart City facendo uso di tecnologie per affrontare un'ampia gamma di sfide urbane, Singapore ha una visione più ambiziosa e globale. Pertanto l'indice *Smart City Index 2021*, che fa una graduatoria di 102 città in tutto il mondo in base alla loro capacità di integrare tecnologie intelligenti per migliorare la qualità della vita dei loro residenti, ha classificato Singapore al primo posto come la città più intelligente.

Il cambiamento climatico influisce sulla temperatura media annuale della superficie di Singapore, che è aumentata a un tasso medio di 0,2/0,3°C per decennio dagli anni '80. Gli anni dal 2010 al 2019 sono stati i più caldi mai registrati con 27,95°C. Sono aumentati anche i totali giornalieri delle precipitazioni e la frequenza dei giorni con precipitazioni più abbondanti, inoltre il livello medio del mare ha mostrato un aumento annuo di 3 mm all'anno negli ultimi 15 anni. Ciò rende le misure di adattamento una necessità per Singapore per prepararsi agli effetti e aumentare la resilienza agli effetti del cambiamento climatico.

La ricerca è un fattore chiave per migliorare la comprensione della scienza del

a sinistra:
vista della città di
Singapore, Scmp.com/

clima in modo da poter sviluppare misure di adattamento efficaci. La conoscenza del clima regionale e locale è essenziale per costruire la resilienza, poiché ci troviamo in un'area ad alto rischio per gli effetti dei cambiamenti climatici. Questo è il motivo per cui si stanno ampliando le competenze nelle scienze climatiche e meteorologiche all'interno del *Meteorological Service Singapore* (MSS) e degli istituti di ricerca locali e creando partnership con esperti internazionali.

Proteggere la costa di Singapore e migliorare il drenaggio è una delle priorità nell'affrontare gli effetti del cambiamento climatico. Per far fronte all'innalzamento del livello del mare a lungo termine, il livello minimo di bonifica a Singapore è stato aumentato da 3 metri a 4 metri sopra il *Singapore Height Datum*[65] nel 2011.

Gli sforzi attuali per difendere le aree costiere dall'erosione includono la costruzione di muri e argini in pietra che coprono dal 70% all'80% della costa. Il *Coastal Adaptation Study* (CAS) è stato commissionato per valutare i potenziali impatti dell'inondazione costiera in possibili scenari di cambiamento climatico e per studiare possibili misure di adattamento a lungo termine. Il governo sta esaminando i risultati del CAS per sviluppare strategie a lungo termine per proteggere le coste di Singapore, mentre le istituzioni locali stanno collaborando alla ricerca sulle misure di protezione naturale delle coste come l'uso di piante come mangrovie e alghe come barriere naturali alle inondazioni. Sebbene le piante forniscano una protezione naturale dagli effetti del cambiamento climatico, sono anche vulnerabili ai suoi effetti. Questo perché il cambiamento climatico altera i processi naturali del nostro ecosistema come la formazione del suolo, lo stoccaggio dei nutrienti e l'assorbimento dell'inquinamento, ciò può influire sulla capacità delle barriere naturali di mitigare le inondazioni e le maree.

Il cambiamento climatico può influenzare l'approvvigionamento idrico, poiché l'aumento dell'intensità delle precipitazioni potrebbe sopraffare il sistema di drenaggio e creare inondazioni, mentre il clima secco ridurrà la disponibilità di acqua del bacino idrico locale per l'approvvigionamento. Per questo adottare misure appropriate per garantire la sostenibilità delle risorse idriche è

[65] Il Singapore Height Datum (SHD) è il dato verticale all'altezza di 0,0 metri che la Singapore Land Autority ha introdotto nel 2015 per la standardizzazione nel settore delle costruzioni, 103east.sg/

una priorità assoluta per l'Agenzia nazionale per l'acqua di Singapore (PUB), che ha istituito quattro rubinetti nazionali per soddisfare le esigenze idriche. PUB si impegna quindi a garantire un approvvigionamento idrico diversificato e sostenibile attraverso i rubinetti nazionali e a sviluppare le capacità di produzione di acqua, tra cui *NEWater* e *Desalinated water*, per soddisfare la futura domanda di acqua che aumenterà inesorabilmente.

Con il cambiamento climatico, gli eventi piovosi potrebbero aumentare di frequenza e intensità. Attraverso l'approccio *Source-Pathway-Receptor*, gli interventi non vengono effettuati solo lungo il percorso, ad esempio attraverso allargamenti e approfondimenti di dreni e canali, ma anche attuati presso la sorgente dove si genera il deflusso delle acque meteoriche e al ricettore dove possono verificarsi allagamenti, ad esempio attraverso i livelli della piattaforma, la protezione della cresta e le barriere contro le inondazioni. Questo approccio è sostenibile poiché la gestione delle acque piovane è affrontata in tutte le parti del sistema di drenaggio, con i proprietari e gli sviluppatori degli edifici che svolgono un ruolo nella gestione dell'impatto dei loro sviluppi sui rischi di alluvione[66].

Gli sviluppatori di siti nuovi e riqualificati sono tenuti a implementare misure in loco, come serbatoi di detenzione, tetti verdi, giardini pluviali o stagni di ritenzione per rallentare il flusso di acqua piovana scaricata dai loro sviluppi nel sistema di drenaggio pubblico.

Un altro fattore da prendere in considerazione è l'effetto Urban Heat Island che aggraverà il riscaldamento climatico. Per questo Singapore sta adottando delle strategie per mantenere il comfort termico:

- utilizzo di strumenti di modellazione microclimatica nella pianificazione di nuove città e complessi residenziali per rafforzare i principali corridoi del vento, ottimizzare il layout e l'orientamento dell'edificio per una migliore ventilazione naturale e identificare potenziali punti critici per una migliore collocazione del verde;
- aumentare la copertura vegetale riservando terreni per parchi e aree naturali, incorporando la piantumazione lungo le strade, oltre a richiedere nuovi sviluppi in aree ad alta frequentazione per incorporare aree minime di sostituzione del verde.

Poiché la stragrande maggioranza delle emissioni di carbonio proviene dalla combustione di combustibili fossili per l'energia, il modo più diretto per la mitigazione delle emissioni è ridurre l'uso di combustibili fossili. Singapore ha compiuto il passo successivo passando dall'olio combustibile ad alta intensità di carbonio al gas naturale, che ha un contenuto di carbonio inferiore per unità di elettricità generata. Pertanto, il miglioramento dell'efficienza energetica è un obiettivo chiave per ridurre le emissioni a Singapore.

L'*Energy Efficient Program Office* (E²PO) è stato istituito nel 2007 per promuovere miglioramenti dell'efficienza energetica nei vari settori dell'economia. Sono infatti in corso di attuazione misure in tutti i settori chiave: produzione di energia, industria, trasporti, edilizia e abitazioni, nonché gestione dell'acqua e dei rifiuti. Innanzitutto i cittadini possono aiutare nell'azione contro il cambiamento climatico avendo una casa efficiente dal punto di vista energetico, acquistando elettrodomestici ad alta efficienza energetica e adottando abitudini di risparmio energetico. Il governo ha implementato diverse iniziative per consentire ai proprietari di casa di fare scelte migliori e influenzare il comportamento di utilizzo. Gli edifici esistenti possono essere adattati per incorporare progetti ecologici e aumentare la loro efficienza energetica, ad esempio con i sensori intelligenti incorporati all'interno degli edifici, come i sistemi di illuminazione che rilevano il movimento e si regolano automaticamente.

Per un uso più efficiente dell'energia, l'*Intelligent Energy System* (IES) tenta di migliorare le operazioni di rete e facilitare la partecipazione attiva tra i consumatori. I contatori intelligenti dotati di capacità di comunicazione svolgono un ruolo particolarmente importante nel consentire al sistema di essere un canale a due vie, forniscono infatti, sia ai consumatori che al gestore della rete, informazioni su quanta elettricità stanno utilizzando[67].

La produzione di energia è una delle principali fonti di emissioni di carbonio per questo con la capacità limitata di attingere a risorse energetiche alternative, a Singapore si fa affidamento sui combustibili fossili importati per alimentare la nazione. Dal 2000 è aumentata la percentuale di gas naturale utilizzata nella generazione di elettricità dal 19% a oltre il 95% di oggi. Tra tutti i combustibili

[66] Edb.gov.sg. 2021. *Singapore: Southeast Asia's testbed for smart city solutions.*

[67] Lee, S., Kwon, H., Cho, H., Jongbok, K. and Lee, D., 2016. *International Case Studies of Smart Cities. Singapore, Republic of Singapore*. pp.12-13.

a sinistra:
l'Intelligent Trasport System di Singapore, Asiaone.com/

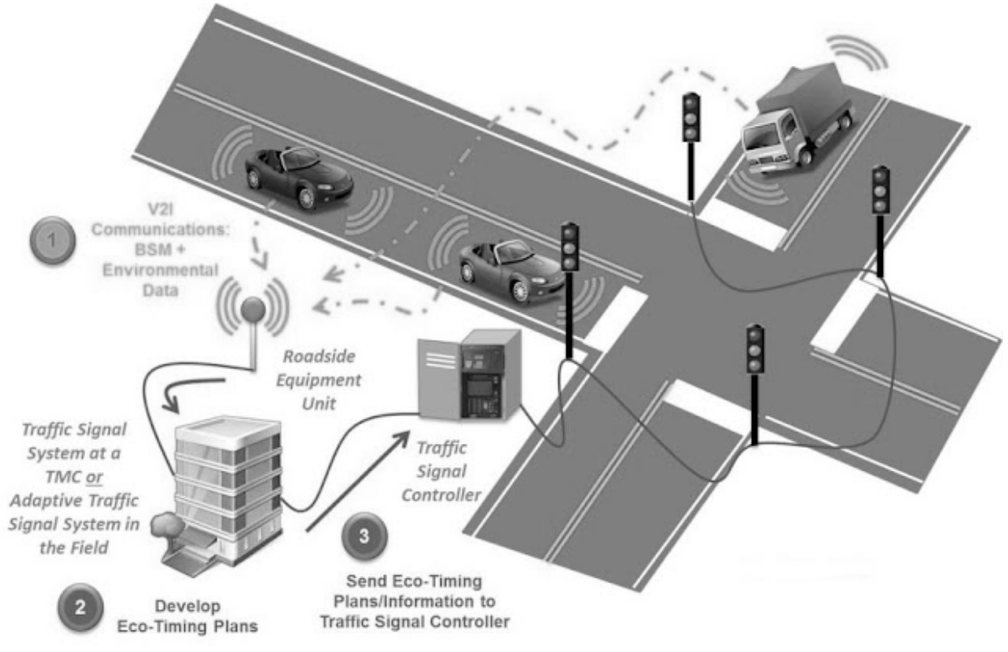
fossili, il gas naturale produce la minor quantità di emissioni di carbonio per unità di elettricità e così si è ridotta la quantità di carbonio che rilasciata nell'atmosfera.

Tra le opzioni energetiche alternative a disposizione, l'energia solare offre l'opportunità più promettente per Singapore. Per accelerare la diffusione del solare, è stato lanciato il programma *SolarNova*. Singapore mira a distribuire almeno 2 GWp di solare entro il 2030, equivalenti al fabbisogno annuo di elettricità di circa 350.000 famiglie a Singapore.

Anche la capacità fotovoltaica installata e connessa alla rete a Singapore è cresciuta in modo significativo. Questo contributo viene fornito tramite le 4.000 installazioni in tutta Singapore nel settore privato non residenziale, nel settore pubblico e negli immobili residenziali.

Il cuore dell'innovazione nel settore della mobilità a Singapore è il sistema *vehicle to everything*. Oltre alle automobili a guida autonoma che sono in fase di test e dovrebbero diventare lo standard a partire dal 2025, si sta sperimentando la comunicazione da veicolo a veicolo e tra veicolo e infrastrutture: mentre la prima servirà soprattutto per le auto che si guidano da sole, è la seconda che rappresenta fin da subito il salto hi-tech. Dialogando con i semafori si può rendere più semplice la gestione del traffico o essere avvisati in anticipo della presenza di un pedone, e in caso di emergenza è molto più semplice aprire un varco nel traffico per il veicolo di soccorso. La città ha implementato un sofisticato *Intelligent Transport System* (ITS) per migliorare il flusso del traffico e mantenere la sicurezza.

Singapore prevede di ridurre le emissioni passando a veicoli a energia più pulita, per questo i veicoli con motore a combustione interna saranno gradualmente eliminati entro il 2040. Per supportare la crescita dei veicoli elettrici, il governo punta a installare 60.000 punti di ricarica nei parcheggi pubblici e privati locali entro il 2030. Inoltre si stanno potenziando le strutture di trasporto esistenti per renderle più rispettose dell'ambiente e progettando nuove strutture sostenibili per il trasporto stradale, aeroportuale e portuale, incorporando caratteristiche e tecnologie efficienti dal punto di vista energetico e di riduzione del carbonio.



in alto:
Traffic Management System di Singapore
Nhighwaytravel.blogspot.com/

a sinistra:
Parking Guidance System di Singapore, Commons.wikimedia.org/

One.Motoring è il portale completo che serve tutti i conducenti e proprietari di veicoli a Singapore: su questo portale web, i cittadini possono accedere alle informazioni sul traffico raccolte dalle telecamere di sorveglianza installate su strade. Attraverso *Traffic Smart*, i conducenti sono in grado di visualizzare istantanee delle strade scattate a intervalli di 5 minuti, per motivi di sicurezza i video in movimento in tempo reale o i primi piani non vengono forniti online. Questo servizio fornisce inoltre informazioni sui lavori stradali, immagini del traffico delle principali autostrade, notizie sul traffico, mappe, indicazioni stradali e informazioni sui parcheggi ed offre anche informazioni e indicazioni ai cittadini per quanto riguarda l'acquisto, la vendita e la manutenzione dei propri veicoli. *Your Speed Sign* è un dispositivo elettronico intelligente e attivo che visualizza la velocità in tempo reale dei veicoli e avvisa i conducenti se stanno violando il limite di velocità. Incoraggia quindi i conducenti a rimanere al di sotto del limite e a migliorare la sicurezza sulle strade.

La *Land Transport Authority* (LTA) utilizza telecamere di sorveglianza per rilevare gli incidenti stradali: quando viene rilevato un incidente, LTA attiva la squadra di recupero del veicolo che mira a raggiungere il sito in circa 15 minuti per trainare il veicolo fino al parcheggio designato più vicino all'esterno della superstrada.

Il *Parking Guidance System* fornisce invece ai conducenti informazioni in tempo reale sulla disponibilità di parcheggio, ciò riduce la quantità di traffico circolante alla ricerca di spazi disponibili e favorisce un uso più efficiente dei parcheggi esistenti. È stato anche installato un nuovo sistema centralizzato che determina la posizione degli autobus in tempo reale e quindi fornisce informazioni accurate sugli arrivi degli autobus pubblici. I pendolari in questo modo sono in grado di visualizzare le informazioni sulla disponibilità di spazio per aiutarli a decidere se salire a bordo dell'autobus in arrivo o scegliere di salire sul prossimo.

La strategia globale di gestione dei rifiuti mira a ridurre le emissioni dai rifiuti attraverso le 3R (ridurre, riutilizzare e riciclare) ed incenerendo i rifiuti rimanenti negli impianti di termovalorizzazione, che è preferibile allo smaltimento in discarica poiché l'interramento diretto dei rifiuti produce metano, un gas

serra. Il governo mira così a migliorare l'attuale tasso di riciclaggio dal 59% al 70% entro il 2030. Lo sviluppo integrato dell'impianto di recupero delle acque e dell'impianto di gestione integrata dei rifiuti mira a massimizzare il recupero di energia e risorse nei processi di trattamento dei rifiuti solidi e delle acque usate. Il biogas, prodotto dalla co-digestione di rifiuti alimentari e fanghi idrici usati, sarà utilizzato per generare energia elettrica che verrà utilizzata per il funzionamento dell'impianto autosufficiente dal punto di vista energetico.

I contenitori per rifiuti sono stati introdotti come parte del programma di gestione intelligente dei rifiuti. I monitor di rilevamento, attaccati ai coperchi dei cassonetti, raccolgono informazioni sul contenuto e sulla posizione e questo viene notificato a un team della spazzatura attraverso un server centrale. Questo aiuta il team di raccolta a ottimizzare la pianificazione del percorso e, allo stesso tempo, a mantenere costantemente puliti gli spazi pubblici.

Singapore è la terza città più sicura al mondo secondo il rapporto dell'*Economist Intelligence Unit*[68].

Singapore Police Force ha obiettivi specifici di impegno di servizio per operare in modo efficiente: la polizia fornisce anche un centro elettronico sul web per consentire ai cittadini di raccogliere comodamente informazioni, archiviare rapporti di polizia online e gestire questioni amministrative. La *Singapore Civil Defense Force* (SCDF) è un'organizzazione supervisionata dal Ministero degli affari interni del governo, che fornisce servizi antincendio, di soccorso e di emergenza medica. L'*Emergency Medical Service* (EMS) è gestito dall'SCDF ed è raggiungibile tramite il numero a tre cifre ma anche tramite l'applicazione mobile che è stata progettata per aumentare il tasso di sopravvivenza da incidenti come l'arresto cardiaco extraospedaliero. Un altro aspetto importante dell'iniziativa *Smart Nation* è la telemedicina: Singapore mira a promuovere l'uso diffuso di tecnologie indossabili come fitness tracker, orologi smart e persino indumenti intelligenti in grado di monitorare il benessere di un paziente. L'idea non è solo quella di registrare i segni vitali come la pressione sanguigna, la frequenza cardiaca e la temperatura corporea, ma anche di trasmettere i dati via internet agli operatori sanitari designati o ai membri della famiglia.

[68] L'Economist Intelligence Unit (EIU) fornisce previsioni e servizi di consulenza economici attraverso ricerche ed analisi di mercato, come ad esempio rapporti informativi mensili sulle nazioni, previsioni economiche delle nazioni, rapporti di servizio sul rischio dei Paesi e rapporti industriali (Wikipedia).

[69] Lee, S., Kwon, H., Cho, H., Jongbok, K. and Lee, D., 2016. *International Case Studies of Smart Cities. Singapore, Republic of Singapore*. pp.13-14.

Come nazione connessa con un tasso di connessione a banda larga wireless estremamente impressionante, Singapore ha sottolineato l'importanza della connettività tra il governo, le industrie e la sua gente. Sono utilizzati siti web che hanno sviluppato contenuti incentrati sui cittadini e molte informazioni vengono trasferite ad essi attraverso i social media e le applicazioni mobili.

Non sorprende che Singapore sia già leader in termini di piattaforma di *e-Government*. I programmi di questa piattaforma sono suddivisi in tre categorie:

1. Programmi per i cittadini.

- *Data.gov.sg*: consente di scoprire facilmente l'accesso agli annunci a set di dati pubblici disponibili per il governo.
- *OneInbox*: fornisce una piattaforma ufficiale in cui le persone possono ricevere elettronicamente le corrispondenze relative al governo.
- *SingPass*: è un sistema di autenticazione per accedere a tutti i servizi elettronici del governo.

Altri programmi per i cittadini includono: il portale di beneficenza e donatori ed *e-Visitor* che fornisce informazioni per i turisti.

2. Programmi per le imprese.

- *Business Incentive Profiler*: fornisce alle aziende un accesso e una domanda one-stop per tutte le sovvenzioni governative disponibili e consente di applicare, aggiornare, rinnovare o terminare qualsiasi licenza commerciale online rilasciata da agenzie governative.

Altri programmi includono il *Government Electronic Business* (GeBIZ), che è un portale unico di appalti elettronici e *OneMap*, una piattaforma geospaziale online integrata in cui vengono fornite al pubblico informazioni e servizi affidabili e precisi basati sulla posizione.

3. Programmi per il governo.

- *The Government Cloud* (G-Cloud): fornisce un ambiente ICT condiviso sicuro per le agenzie governative.
- *Cube*: fornisce una piattaforma di social networking tra funzionari pubblici per scambiare idee, quale *Infocomm Security Masterplan* che serve a guidare i tentativi a livello nazionale di Singapore di proteggere il proprio paese da qualsiasi minaccia cibernetica esterna o interna[69].

in alto:
Virtual Singapore,
Govinsider.asia/

a sinistra:
George Loh, direttore dei programmi presso la NRF, presenta Virtual Singapore, Insider.com/

La piattaforma *Smart Nation* è divisa in due livelli: *Smart Nation Operating System* (SN-OS) e *Communications & Sensor Network*. Quest'ultima è un'infrastruttura fondamentale per l'implementazione di strutture sul campo come contatori intelligenti e sensori di allagamento. Le strutture sul campo installate intorno alla città sono collegate sia tramite connessioni cablate che wireless per formare una rete di comunicazione e di sensori nel suo insieme. Le informazioni raccolte dai dispositivi vengono quindi condivise tra le agenzie per le risposte appropriate.

Basato sulla comunicazione e sulla rete di sensori *Smart Nation Operating System* opera su tre livelli: la gestione dei sensori, attraverso la quale le strutture sul campo dovrebbero essere regolarmente monitorate per il loro corretto funzionamento, lo scambio di dati attraverso una piattaforma unificata e la *sense-making platform* in cui i dati vengono elaborati, integrati e analizzati per fornire informazioni agli utenti finali.

La città-stato di Singapore a causa della mancanza di spazio orizzontale, ha visto un significativo sviluppo verticale nel corso degli anni, con sempre più persone che risiedono in grattacieli e spazi sotterranei. Lo sviluppo verticale significa anche che le tradizionali mappe urbanistiche 2D sono diventate inadeguate per mappare e rappresentare efficacemente l'ambiente complesso, con lo spazio aereo e lo spazio sotterraneo che si sovrappongono alle informazioni a livello del suolo. Per superare i vincoli delle mappe 2D, sono stati raccolti dati cartografici 3D ad alta risoluzione dell'intero paese ed è stato sviluppato un modello digitale.

Singapore Land Authority (SLA), l'agenzia cartografica nazionale di Singapore, ha avviato un progetto di mappatura nazionale 3D nel 2014 per sviluppare una mappa avanzata della città in modo da rappresentare il complesso ambiente urbano in modo dettagliato. I dati cartografici affidabili ad alta risoluzione e open source raccolti nell'ambito del progetto forniscono un quadro digitale per la nazione intelligente.

Il progetto è stato suddiviso in due fasi. Nella prima fase, la fotografia aerea e il LiDAR sono stati utilizzati per catturare i dati del terreno e della superficie del paese e costruire modelli digitali, che hanno formato il quadro generale.

Nell'ambito della seconda fase, le scansioni laser montate sul veicolo hanno integrato le immagini aeree con dati a livello stradale per migliorare notevolmente i dettagli della mappa: è stata condotta un'indagine di mappatura mobile basata su veicoli per la rete stradale della nazione per acquisire più di tre milioni di immagini e oltre 600 milioni di punti LiDAR e creare modelli 3D altamente dettagliati del denso sistema stradale urbano.

La piattaforma *Virtual Singapore*, che funge da gemello digitale della città, è un modello dinamico di città 3D e consente agli urbanisti di testare soluzioni senza correre troppi rischi. La piattaforma integra anche dati geometrici e di immagine provenienti da diverse agenzie pubbliche, dati 2D e informazioni da piattaforme geospaziali e non geospaziali esistenti come *OneMap*, *People Hub* e *Business Hub*, così come i dati in tempo reale dei sensori distribuiti in tutta Singapore come parte dell'iniziativa *Smart Nation*.

Le sfide affrontate nell'adozione del modello 3D della città erano simili a quelle affrontate per qualsiasi tecnologia nella fase nascente. Gli elevati costi di raccolta dei dati sono stati ridotti al minimo grazie all'uso di tecniche di raccolta e manipolazione dei dati molto veloci. Lo SLA ha lavorato a stretto contatto con Bentley per implementare lo schema *CityGML*, uno standard gestito dall'*Open Geospatial Consortium* (OGC) per consentire l'interoperabilità e lo scambio di dati. Il compito di gestire e aggiornare i dati è stato affidato a *Bentley Map*, che ha aiutato a creare, mantenere e diffondere informazioni 3D e a fornire accesso multiutente al database tramite connessione diretta. L'uso di standard aperti *CityGML* ha consentito alle parti interessate di accedere e utilizzare i dati senza rinnovare i sistemi esistenti, portando a sua volta alla riduzione dei costi.

Virtual Singapore include la modellazione semantica 3D, che comprende informazioni dettagliate come texture, rappresentazione del materiale di oggetti geometrici e caratteristiche del terreno, come corpi idrici, vegetazione, infrastrutture di trasporto. I modelli di edifici codificano la geometria e i componenti di una struttura, come pareti, pavimenti e soffitti, fino ai suoi minimi dettagli. Il modello offre quattro funzionalità principali:

- Sperimentazione.

Il modello può essere utilizzato per test o sperimentazioni virtuali, ad esempio per esaminare le aree di copertura delle reti 4G, fornire una visualizzazione realistica delle aree con scarsa copertura ed evidenziare le aree che possono essere migliorate nel modello della città.

- Virtual Test-Bedding.

Virtual Singapore può essere utilizzato come piattaforma di test-bedding per convalidare la fornitura di servizi. Ad esempio, potrebbe essere utilizzato per modellare e simulare la dispersione della folla e stabilire le procedure di evacuazione durante un'emergenza.

- Pianificazione e processo decisionale.

Con un ricco ambiente di dati, Virtual Singapore è una piattaforma olistica e integrata per sviluppare applicazioni analitiche. Ad esempio, potrebbe essere sviluppata un'app per analizzare i flussi di trasporto e i modelli di movimento dei pedoni.

- Ricerca e sviluppo.

I dati, se messi a disposizione della comunità di ricerca con i necessari diritti di accesso, possono consentire ai ricercatori di innovare e sviluppare nuove tecnologie o capacità.

In particolare nel modello sono disponibili dati come l'altezza degli edifici, la superficie dei tetti e la quantità di luce solare. Ciò consente agli urbanisti di analizzare quali edifici hanno un potenziale maggiore per la produzione di energia solare e quindi più adatti all'installazione di pannelli solari[70].

Virtual Singapore può fornire informazioni su come la temperatura ambiente e la luce solare variano durante il giorno. Gli urbanisti possono visualizzare gli effetti della costruzione di nuovi edifici o installazioni, sulla temperatura e sull'intensità della luce nella tenuta. Gli urbanisti e gli ingegneri possono anche sovrapporre mappe di calore e rumore per la simulazione e la modellazione, questo può aiutare i pianificatori a creare un ambiente di vita più confortevole e più fresco per i residenti.

Questo progetto è sostenuto dalla *National Research Foundation* (NRF), dall'

[70] 2021. *Virtual Singapore.*

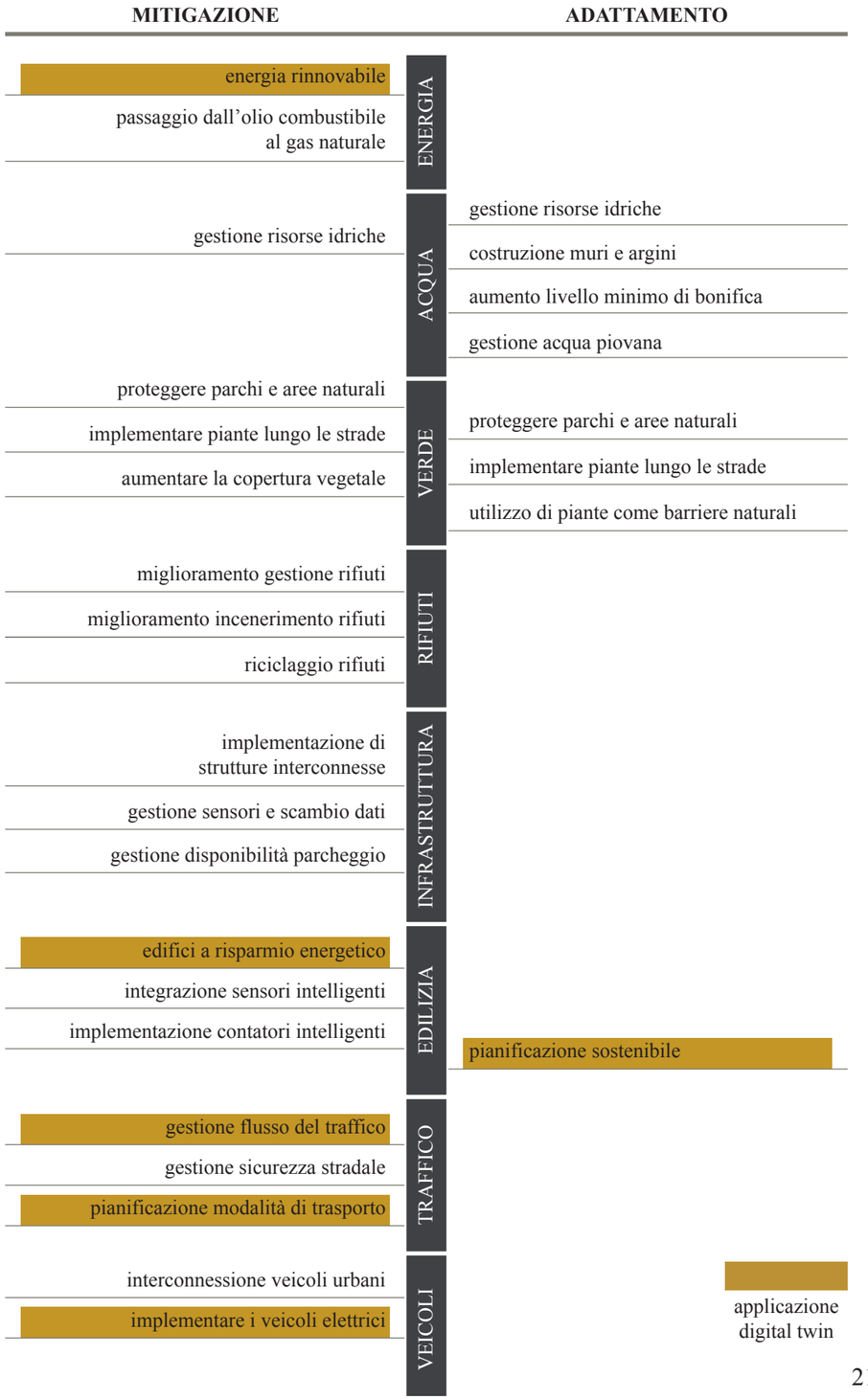
Ufficio del Primo Ministro di Singapore, dalla *Singapore Land Authority* (SLA) e dalla *Government Technology Agency di Singapore* (GovTech). NRF guiderà lo sviluppo del progetto, mentre SLA supporterà con i suoi dati di mappatura topografica 3D e diventerà l'operatore e il proprietario quando Virtual Singapore sarà completato. GovTech fornirà competenze nella tecnologia dell'informazione e delle comunicazioni e nella sua gestione come richiesto dal progetto.

Singapore deve affrontare rischi di alluvione a causa dell'innalzamento dei livelli dell'acqua, ma deve ancora investire i suoi sforzi nella tecnologia Digital Twin nella previsione delle inondazioni e della qualità dell'acqua. La gestione dell'approvvigionamento idrico potrebbe essere una delle aree chiave su cui la città-stato potrebbe concentrarsi[71].

I progetti intelligenti sono una buona base per esplorare le possibilità della digitalizzazione e Singapore ne sta intraprendendo una serie e come città-stato è in grado di adottare un approccio olistico. La pandemia di Covid-19 ha dimostrato i vantaggi di una città in rete: Singapore è stata in grado di comunicare le decisioni a livello nazionale in modo rapido ed efficiente e di coinvolgere direttamente i cittadini nei processi.

a destra:
schema di sintesi sulle strategie per il cambiamento climatico di Singapore, a cura di D'Amanzo C. e Feijoo S.

[71] Eden strategy institute. 2021. *Can Digital Twins Transform Singapore's Built Environment?*



5.7. Confronto finale

Molte città, soprattutto nel contesto europeo, si sono trovate a dover ripensare in modo radicale la propria identità e la propria collocazione nel contesto nazionale e regionale a causa della "nuova questione urbana"[72] caratterizzata dall'aumento della popolazione e dal cambiamento climatico.
Le città sono i principali motori del consumo energetico e delle emissioni di gas serra, circa il 70% a livello globale, che rappresentano le fonti del cambiamento climatico antropocentrico. Le città sono le aree del pianeta più a rischio per la manifestazione dell'innalzamento del livello del mare, degli eventi piovosi, delle ondate di calore, della siccità, della scarsità d'acqua, dell'inquinamento atmosferico dovuto all'elevata concentrazione di popolazione, infrastrutture, edifici e attività economiche.
La pianificazione per il cambiamento climatico nelle aree urbane richiede un'azione immediata ed efficace per lo sviluppo di politiche urbane per garantire la riduzione delle emissioni di GHG e prevenire gli effetti del cambiamento climatico. Le due principali strategie adottate sono la mitigazione, per ridurre le emissioni di gas serra, e l'adattamento, per aumentare la resilienza della forma e dei sistemi urbani agli effetti del cambiamento climatico.
Nell'analisi dei casi studio affrontati si è riscontrato che la mitigazione ha ricevuto maggiore attenzione, mentre sono meno sviluppati i piani di adattamento, c'è quindi uno squilibrio tra le due strategie. La maggiore enfasi sulla mitigazione è data da decenni di sviluppo di politiche per limitare le emissioni di gas serra, inoltre l'incapacità di limitare il riscaldamento globale entro 2 °C al di sopra dei livelli preindustriali avrà conseguenze significative per l'adattamento, poiché si prevede che una maggiore concentrazione di GHG nell'at-

[72] Secchi, B., 2013. *La città dei ricchi e la città dei poveri*, pp.3-13.

mosfera aumenterà la frequenza e l'intensità degli eventi estremi rendendo così l'adattamento futuro più incerto, costoso e impegnativo.

Un altro problema è che i piani d'azione per il clima hanno tradizionalmente la tendenza a concentrarsi sull'adattamento o sulla mitigazione. Geograficamente, la mitigazione è stata considerata una responsabilità prioritaria delle città del nord e l'adattamento di quelle del sud. Ciò potrebbe essere spiegato dalle argomentazioni secondo cui le città del nord hanno emissioni più elevate e, quindi, maggiori potenzialità di mitigazione, inoltre hanno maggiori responsabilità a causa del loro maggiore contributo alle emissioni storiche. Al contrario, l'adattamento è particolarmente importante nei paesi in via di sviluppo che contribuiscono relativamente meno alle emissioni di gas serra, quindi presentano potenziali di mitigazione inferiori, ma sono più vulnerabili e affrontano maggiori impatti climatici[73]. L'analisi sui casi studio dimostra questo concetto: Helsinki, Zurigo, Monaco e Singapore sono tutte città situate a nord dell'equatore e i loro piani d'azione sulla mitigazione sono una priorità rispetto all'adattamento.

Al contrario, tra le città del sud c'è Rio de Janeiro, che ha sempre avuto un clima piuttosto caldo, ma ultimamente le giornate calde sono diventate più frequenti, le giornate fredde meno e le ondate di calore durano più a lungo. Sono stati registrati centinaia di disastri naturali dai primi anni 2000 e oggi i ricercatori stimano che almeno 155.000 persone che vivono in oltre 1.300 aree ad alto rischio sono vulnerabili a frane e inondazioni[74]. Per questo è stata data maggiore priorità alla *Strategia di Adattamento* che presenta i passi principali della capacità di adattamento della città, con l'obiettivo di attuare azioni di risposta per ridurre la potenziale esposizione e vulnerabilità.

Se, da un lato, mitigazione e adattamento sembrano interessare spazi e tempi inconciliabili, dall'altro, questa dicotomia viene negata quando entrambi sono classificati come risposte antropiche ai cambiamenti che il riscaldamento globale comporta. Infatti da una parte nelle città si verificano eventi come l'innalzamento del livello del mare, mareggiate, inondazioni improvvise e ondate di calore, che a loro volta causano un aumento dei costi, impatti sulla salute e riduzione del benessere, dall'altra parte le aree urbane sono fonti di emissioni di gas serra. Per entrambi i fattori le città svolgono un ruolo centrale nell'adattamento climatico e nella pianificazione della mitigazione[75].

Negli ultimi anni in alcune città europee si stanno già sperimentando delle politiche sulla questione climatica in termini di innovazione nella progettazione per interventi di mitigazione e adattamento. Tra i casi studio analizzati Rotterdam ne è un esempio, infatti la sfida del cambiamento climatico della città è incentrata principalmente sull'acqua, in quanto gran parte dell'area urbana si trova sotto il livello del mare ed è quindi a rischio di inondazioni. Per questo Rotterdam ha sviluppato un piano d'azione di adattamento con la stessa priorità di quello di mitigazione[76].

La Commissione Europea ha introdotto un quadro normativo mirato ad una direttiva il cui obiettivo principale è rendere l'Europa più resiliente ai cambiamenti climatici e soprattutto riconoscere l'importanza di affrontare l'adattamento con la stessa priorità della mitigazione[77]. Anche con la pubblicazione del quinto rapporto di valutazione dell'IPCC c'è stato un cambiamento di paradigma verso un'integrazione dei piani della mitigazione e dell'adattamento. Ciò è guidato dalla crescente consapevolezza che le città del nord devono affrontare un gran numero di impatti climatici, infatti alcuni paesi europei hanno assistito a vasti eventi di inondazioni e ondate di calore, e che le città del sud stanno crescendo rapidamente, mostrando così grandi potenziali di mitigazione. In questo modo il divario tra adattamento e mitigazione sta diventando sfocato. Al contrario, le strategie adottate nelle città analizzate mostrano una separazione tra i piani d'azione dell'adattamento e quelli della mitigazione. Le città tedesche, tra cui Monaco, stanno adottando una nuova politica ministeriale per la gestione e il finanziamento dei governi locali, infatti la Germania ha recentemente deciso che adattamento e mitigazione dovrebbero essere trattati separatamente, il che potrebbe spiegare il basso numero di piani urbani integrati per il cambiamento climatico. Ma l'azione combinata di adattamento e mitigazione sembra essere la risposta migliore alla crisi climatica in corso[78], è quindi ancora necessario uno sforzo maggiore a livello locale per migliorare la considerazione delle sinergie e dei compromessi tra esse. Tuttavia, poiché questo non è necessariamente un compito semplice per i pianificatori urbani

[73] Sharifi, A., 2021. *Co-benefici e sinergie tra la mitigazione del cambiamento climatico urbano e le misure di adattamento: una revisione della letteratura*, p.2.

[74] Muggah, R. and Sekula, J., 2021. *Rio de Janeiro Faces Perfect Storm of Climate Change.*

[75] S. Grafakos, G. Viero, D. Reckien, K. Trigg, V. Viguie, A. Sudmant, C. Graves, A. Foley, O. Heidrich, J.M. Mirailles, J. Carter, L.H. Chang, C. Nador, M. Liseri, L. Chelleri, H. Orru, K. Orru, R. Aelenei, A. Bilska, B. Pfeiffer, Q. Lepetit, J.M. Church, M. Landauer, A. Gouldson, R. Dawson, *Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment*, p.2.

[76] 2013. *Rotterdam climate change adaptation strategy.*

[77] European Commission, 2021. *Building a Climate-Resilient Future, A new EU Strategy on Adaptation to Climate Change.*

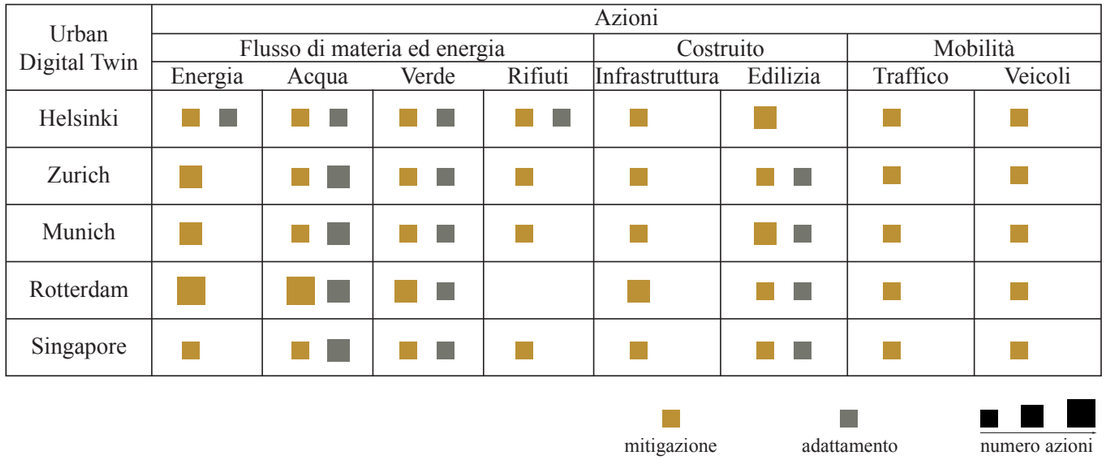
[78] Pollo, R., Trane, M., 2021. *Adaptation, Mitigation, and Smart Urban Metabolism*, pp.77.

e policy maker, dovrebbe essere fornito ulteriore supporto in questa direzione dal governo nazionale.

Un chiaro vantaggio dell'integrazione simultanea delle misure di adattamento e mitigazione nei piani d'azione per il clima è una migliore consapevolezza delle potenziali interazioni che possono esistere tra le diverse misure adottate, che comportano molteplici dinamiche e complessità spaziali e temporali. Tuttavia, nonostante la conoscenza dell'importanza delle sinergie stia crescendo, sono ancora necessari ulteriori miglioramenti, infatti sebbene, idealmente, dovrebbero essere intrapresi sforzi coordinati in diversi settori per garantire il miglioramento dell'efficacia e dell'efficienza delle azioni, ciò potrebbe non essere possibile in tutti i contesti.

Tutte le città, sia quelle che seguono un approccio integrato che quelle che adottano un approccio autonomo nella pianificazione del cambiamento climatico, condividono questioni simili in termini di grandi sfide di trasformare la scienza del clima in politiche e azioni.

figura 12:
Il grafico confronta gli urban digital twin, a cura di D'Amanzo C. e Feijoo S.



Confronto

La ricerca, dopo aver analizzato i singoli Urban Digital Twin, si concentra sul confronto diretto tra essi. L'obiettivo infatti non è un elenco esaustivo, ma la raccolta di materiale sufficiente a comprendere le caratteristiche e le criticità degli interventi degli Urban Digital Twin in risposta al cambiamento climatico. L'analisi mette quindi a confronto le diverse azioni a livello locale attuate in tre ambiti diversi: flusso di materia ed energia, ambiente costruito e mobilità. Il primo punto comprende energia, acqua, verde e rifiuti, aree in cui si riscontra una maggiore concentrazione delle misure adottate. Il costruito comprende la gestione dell'infrastruttura e dell'edilizia, mentre il traffico e i veicoli sono inclusi nell'ambito della mobilità in cui è stato individuato un numero di azioni minore.

Le azioni descritte sono state messe a confronto con ogni caso studio e sono state differenziate in strategie di mitigazione e adattamento. Inoltre per poter ragionare anche sull'importanza che ogni città dà ad ogni ambito, si è deciso di mettere a confronto anche il numero delle azioni messe in atto. (fig.12)

Il quadro complessivo permette di individuare immediatamente su quali settori

le città hanno lavorato maggiormente per rispondere ai problemi del cambiamento climatico. Tutti gli ambiti si occupano della mitigazione, mentre acqua, verde ed edilizia sono gli unici in cui si riscontrano anche piani di azione per l'adattamento, per questo risultano avere un numero maggiore di misure adottate. Questo si può spiegare dal fatto che in questi anni la frequenza e l'intensità degli eventi estremi, come l'innalzamento del mare e le precipitazioni abbondanti, rendono necessario l'aumento delle misure. Ad esempio Rotterdam risulta la città con un numero maggiore di strategie intraprese per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Tra queste si riscontra una protezione sostenibile contro le inondazioni attraverso la costruzione di argini, l'ottimizzazione delle barriere per contrastare la mareggiata e il rinforzo delle dighe. Inoltre la funzione spugna della città sarà ripristinata attuando misure per l'immagazzinamento dell'acqua piovana e il ritardo del drenaggio. Misure che riguardano l'edilizia includono tetti, facciate verdi e la diminuzione della pavimentazione, mentre l'aumento della flora nelle strade pubbliche e nei quartieri, la creazione di piazze d'acqua e zone di infiltrazione sono parte dell'infrastruttura[79].

Per quanto riguarda energia, infrastruttura, traffico e veicoli, essendo aree che concentrano le proprie azioni solo sulla riduzione delle emissioni, si riscontrano ovviamente misure di mitigazione. In particolare le strategie adottate nell'ambito dell'energia sono quelle maggiormente sviluppate. Un esempio è Helsinki che si è prefissata l'obiettivo di raggiungere la neutralità carbonica entro il 2035, per questo ha intrapreso delle azioni che hanno permesso alle emissioni di gas serra di diminuire del 26% dal 1990 al 2019. Le soluzioni principali della mitigazione sono la sostituzione del carbone con il gas naturale nella produzione di energia e il miglioramento dell'efficienza energetica[80]. Anche Singapore ha compiuto questo passo sostituendo l'olio combustibile ad alta intensità di carbonio al gas naturale. Un'altra strategia fondamentale riscontrata in ogni città è l'utilizzo dell'energia rinnovabile con lo scopo di ridurre l'emissione di CO_2.

L'ambito in cui le azioni intraprese sono limitate e che dovrebbero essere implementate da ogni Urban Digital Twin è quello dei rifiuti. Rotterdam necessita infatti di includere azioni nella gestione dei rifiuti, nel riciclaggio e nello smaltimento.

Infine un'ultima considerazione che si constata è che quattro delle cinque città messe a confronto lavorano attraverso azioni in tutti gli ambiti analizzati, per affrontare gli impatti del cambiamento climatico.

[79] 2013. *Rotterdam climate change adaptation strategy*, pp 21-67.

[80] City of Helsinki. *From Agenda to Action: Implementation of the UN Sustainable Development Goals in Helsinki 2021*. p.17-18

Urban Digital Twin

Il metodo di ricerca adottato si concentra successivamente sullo studio delle piattaforme digitali che le città analizzate hanno iniziato a sviluppare. Ribadendo il concetto di Smart City, che è caratterizzata da componenti tecnologiche, umane e istituzionali utili per gestire diversi domini, il progresso delle componenti tecnologiche, in particolare del Digital Twin, potrebbe rafforzare il potenziale del concetto di città intelligente nella governance dell'ambiente costruito.

L'evoluzione dei modelli di città è accompagnata dalla crescente necessità di condividere informazioni tra le diverse discipline e i piani di analisi. Due tendenze mettono in continuità i Digital Twin con lo sviluppo delle città: l'integrazione dei dati, che avanza verso la trasmissione in tempo reale, e la generazione automatica di elementi, che ha reso sostenibile la costruzione di modelli e che oggi fa ricorso all'intelligenza artificiale per estrapolare le informazioni dai Big Data.

Le città analizzate sono state riprodotte nel mondo digitale attraverso dati e informazioni raccolti dal mondo reale per migliorare il livello di governance e aumentare la partecipazione dei cittadini ai processi decisionali, come dimostrato nel caso di studio di Singapore. L'Urban Digital Twin mira a migliorare l'efficienza e la sostenibilità della logistica, del consumo energetico, delle comunicazioni, della pianificazione urbana, dei disastri, della costruzione di edifici e dei trasporti.

Nell'analisi si è voluto evidenziare in quali aree il Digital Twin interviene maggiormente a supporto delle diverse strategie adottate da ogni città in risposta al cambiamento climatico. (fig.13) Si sono riscontrate maggiori applicazioni negli ambiti di energia, edilizia e traffico. Un esempio è Zurigo che, come

molte altre città, utilizza il suo modello di città virtuale in diversi settori per supportare processi pubblici e privati. *Zurich City Digital Twin* si concentra sul tema dell'energia, attraverso l'analisi del potenziale solare, e sull'edilizia, attraverso la visualizzazione di progetti, il calcolo dei flussi d'aria, l'analisi dell'ombra e dello *sky view factor*.

Inoltre analizza l'effetto isola di calore urbana su diverse scale per capire come il futuro sviluppo della pianificazione può influenzare questo fenomeno e come gli edifici saranno influenzati dall'aumento della temperatura. Al contrario, il supporto del Digital Twin è ridotto o assente negli ambiti di acqua, verde e rifiuti. Singapore deve ancora investire i suoi sforzi nella tecnologia del Digital Twin per la previsione delle inondazioni e della qualità dell'acqua, nonostante si riscontrino numerosi rischi di alluvione a causa dell'innalzamento dei livelli del mare. La gestione dell'approvvigionamento idrico potrebbe essere una delle aree chiave su cui la città potrebbe concentrarsi.

Per supportare urbanisti, ingegneri e ricercatori a valutare i benefici e i costi di vari scenari di pianificazione, Singapore adotta un approccio integrato per costruire un *Digital Urban Climate Twin* (DUCT). Al fine di tenere conto della moltitudine di fattori coinvolti nella pianificazione di un ambiente costruito, il modello mira a integrare tutti i componenti rilevanti e sarà utilizzato per valutare soluzioni di progettazione urbana sensibili al clima su tutte le scale spaziali. Il principale vantaggio del DUCT è la capacità di simulare e valutare scenari ipotetici, questo è fondamentale per le agenzie di pianificazione urbana per una solida elaborazione di politiche informate sul clima in futuro.

figura 13:
Il grafico confronta le applicazioni dei digital twin, a cura di D'Amanzo C. e Feijoo S.

Urban Digital Twin	Azioni							
	Flusso di materia ed energia				Costruito		Mobilità	
	Energia	Acqua	Verde	Rifiuti	Infrastruttura	Edilizia	Traffico	Veicoli
Helsinki	■		■		■	■	■	■
Zurich	■	■	■		■	■	■	■
Munich	■	■			■	■	■	■
Rotterdam	■	■			■	■	■	
Singapore	■					■	■	■

■ applicazione digital twin

■ ■ numero azioni

Morfologia urbana

La ricerca sugli Urban Digital Twin ha permesso anche di riflettere sul concetto di morfologia urbana, in particolare nell'analisi della città di Rotterdam si è riscontrato che ci sono diversi fattori morfologici che influiscono sugli impatti del cambiamento climatico, tra cui l'aumento dell'effetto di isola di calore. Attraverso il modello 3D sono stati presi in considerazione alcuni elementi fondamentali per una migliore pianificazione della città, tra cui l'indice dell'involucro edilizio, il volume dell'edificio, il fattore di vista del cielo e

l'ombreggiamento. La combinazione del Digital Twin con il potere predittivo dell'analisi dei dati e dell'intelligenza artificiale, permette alle città di avanzare per migliorare la progettazione urbana con investimenti infrastrutturali a lungo termine utilizzando operazioni in tempo reale.

Lo studio del modello di Rotterdam è centrale per riflettere sull'importanza del ruolo della morfologia urbana nella mitigazione del cambiamento climatico. Questo concetto non è stato preso in considerazione dagli altri casi studio analizzati, infatti dal confronto è emerso che sono state adottate poche azioni nell'ambito dell'edilizia. Nella pianificazione urbana si devono considerare tanti aspetti che oggi, nella maggior parte dei casi, sono stati trascurati. Le analisi spesso si basano esclusivamente sugli indici urbanistici dati dal piano regolatore, ma una conoscenza data dal modello digitale consente al progettista di avere una piena consapevolezza di cosa si deve utilizzare per progettare in risposta al cambiamento climatico. Da questo punto di vista il ruolo dell'architetto, oggi al tempo della trasformazione digitale, è un ruolo molto importante di cui si avrà sempre più bisogno.

Per poter proporre delle linee guida per la pianificazione e la progettazione urbanistica e per modificare la geometria urbana, così da ottenere migliori condizioni climatiche, è importante conoscere la relazione tra comfort climatico e i parametri morfologici urbani. La corretta comprensione del clima locale è cruciale per la pianificazione, infatti gli effetti della forma urbana variano a seconda delle diverse condizioni climatiche, infatti alcuni risultati potrebbero non essere applicabili ad altri luoghi, ad esempio, una forma urbana più compatta o un rapporto altezza-larghezza più elevato può essere vantaggioso per alcune città in estate, ma, al contrario, può avere alcuni effetti negativi in altre città. Infatti una morfologia compatta ha due vantaggi principali, quello di richiedere una minore potenza operativa e costi accessibili, ma ha anche uno svantaggio fondamentale che è la minore velocità di raffreddamento alle alte temperature e la mancanza di ricambio d'aria[81]. Pertanto, le alte temperature estive e le condizioni di vento debole sono il problema centrale delle città compatte, al contrario è un vantaggio durante la stagione fredda. Si verifica esattamente l'opposto nelle strutture edilizie aperte, che si raffreddano più velocemente in inverno e ricevono più aria fresca in caso di assenza di vento. Pertanto per una buona pianificazione che tenga conto dei problemi del cambiamento climatico si dovrebbero prevedere aperture nelle morfologie dense, creare interni in blocchi verdi e alberi ombrosi, aumentare gli spazi idrici e verdi per il raffrescamento e creare corridoi d'aria che favoriscano l'intrusione dei venti per contribuire a rinfrescare asportando il calore.

Anche una corretta pianificazione della vegetazione influenza le temperature interne ed esterne dell'edificio, in quanto piantare alberi intorno alle singole strutture per formare zone d'ombra riduce il consumo energetico di un edificio fino al 25% all'anno riducendo così le escursioni termiche. Quindi alla scala dell'edificio è importante l'implementazione di tetti e pareti verdi, l'isolamento, il ricambio d'aria tra ambienti caldi e freschi e l'utilizzo di materiali riflettenti per ridurre il calore. Alcuni Urban Digital TWwin, come quello di Rotterdam, stanno iniziando ad utilizzare il modello digitale per testare diversi scenari per la pianificazione futura, ad esempio per quanto riguarda i cambiamenti di densità e i loro effetti sul clima urbano, su traffico e mobilità[82]. Questo può essere utile per tutte le città, in quanto le analisi sviluppate dal Digital Twin apriranno nuove possibilità di discussione e processo decisionale all'interno dell'amministrazione e dei partecipanti esterni al progetto.

L'aspetto della morfologia è quindi molto importante rispetto alla progettazione urbana perché l'altezza, la larghezza, lo sky view factor, sono fattori che influenzano le ondate di calore a livello urbano, l'utilizzo dei materiali, la tipologia della copertura delle superfici rispetto al trattamento, possono influenzare sia le ondate di calore ma anche le alluvioni.

[81] Gerhard, Curdes. 2010. *Urban Morphology And Climate Change. Which Morphology Can Survive?*. 17th conference international seminar on urban form, pp.14-15.

[82] Van Der Hoeven, F. e Wandl, A., 2018. *Hotterdam: mappare le dimensioni sociali, morfologiche e di uso del suolo dell'isola di calore urbana di Rotterdam*, pp.60-70.

Conclusione

capitolo 6

La ricerca svolta è partita dall'analisi da una delle principali emergenze che caratterizza il nostro tempo, il cambiamento climatico. Nessuna parte del mondo è immune dalle conseguenze del cambiamento climatico, pertanto l'aumento della temperatura continua ad alimentare il degrado ambientale, aumentando gli eventi meteorologici estremi, la carenza alimentare e idrica e le problematiche economiche.

«*Il rapporto di oggi è un codice rosso per l'umanità*», ha dichiarato il segretario generale delle Nazioni Unite António Guterres. «*I campanelli d'allarme sono assordanti e le prove sono inconfutabili: le emissioni di gas serra dovute ai combustibili fossili e alla deforestazione stanno soffocando il nostro pianeta e mettendo a rischio immediato miliardi di persone. Il riscaldamento globale sta interessando ogni regione della Terra e molti dei cambiamenti che stanno diventando irreversibili. Dobbiamo agire ora in modo deciso per tenere 'viva' la soglia dei 1,5 gradi*». Questo concetto è stato ribadito dagli scienziati dell'Ipcc nel sesto rapporto, in cui è stata confermata l'importanza di agire il prima possibile sottolineando la necessità di non superare la soglia 1,5°C. Le emergenze e le conseguenze ambientali, economiche e sociali derivanti dalla crisi del cambiamento climatico continuano a produrre effetti sui centri urbani, sugli abitanti e sulla loro qualità della vita, sulla necessità di produrre efficienti servizi di urbanizzazione e in grado di fornire un'adeguata risposta ai problemi ambientali.

«*Possiamo ancora evitare le conseguenze peggiori, ma non se continuiamo a fare le cose che facciamo oggi e senza trattare la crisi come una crisi*».

(Greta Thunberg[83], 2021)

[83] Greta Tintin Eleonora Ernman Thunberg è un'attivista svedese per lo sviluppo sostenibile e contro il cambiamento climatico (Wikipedia).

In risposta alle sfide delle città in questi anni si sta sviluppando sempre più il concetto di Smart City, città che utilizza la tecnologia per fornire servizi e risolvere i problemi urbani. Le città utilizzano diversi strumenti per raccogliere, immagazzinare, elaborare e condividere i dati in tempo reale su tutte le infrastrutture digitali. Con queste informazioni, si può agire immediatamente per risolvere quasi tutti i problemi. Una città intelligente permette infatti di migliorare i trasporti e l'accessibilità, i servizi sociali, l'efficienza politica, promuovere la sostenibilità e massimizzare l'inclusione sociale. Inoltre una città intelligente va oltre l'uso delle tecnologie digitali per un migliore utilizzo delle risorse e minori emissioni, quindi reti di trasporto urbano più intelligenti, fornitura di acqua, migliori strutture per lo smaltimento dei rifiuti e modi più efficienti per illuminare e riscaldare gli edifici.

La ricerca, successivamente, si è concentrata sull'analisi di cinque casi studio che hanno intrapreso azioni in risposta ai problemi del cambiamento climatico attraverso strategie di mitigazione e adattamento. Queste città sono definite Urban Digital Twin, in quanto utilizzano strumentazioni digitali come la rappresentazione virtuale delle risorse fisiche, utilizzando dati, analisi dei dati e apprendimento automatico per aiutare i modelli che possono essere aggiornati e modificati in tempo reale man mano che cambiano i loro equivalenti fisici. I gemelli digitali inoltre permettono di migliorare la pianificazione, la gestione delle città e garantire l'interoperabilità tra i diversi settori.

Dal confronto delle misure adoperate dai casi studio è emerso che le strategie adottate mostrano una separazione tra i piani d'azione dell'adattamento e quelli della mitigazione. Si nota una maggiore concentrazione verso le azioni di mitigazione nei diversi ambiti analizzati, anche se la frequenza e l'intensità degli eventi estremi, impongono la necessità di aumentare le misure di adattamento. La risposta migliore alla crisi climatica in corso potrebbe essere l'attuazione di una strategia che integri azioni di adattamento e di mitigazione. Inoltre è stato sottolineato in quali ambiti l'Urban Digital Twin è stato applicato per aiutare la pianificazione in risposta al cambiamento climatico.

Infine questa ricerca ha permesso di ragionare anche sul concetto di morfologia urbana, particolarmente importante in quanto i fattori morfologici devono essere presi in considerazione per una buona pianificazione. Infatti essi possono influire sugli effetti del cambiamento climatico, come le ondate di calore a livello urbano e le intense alluvioni.

Questo concetto però non è stato preso in considerazione dalla maggior parte dei casi studio analizzati, infatti dal confronto è emerso che sono state adottate poche azioni nell'ambito dell'edilizia. Per una giusta pianificazione e progettazione urbanistica tale da ottenere migliori condizioni climatiche, è importante conoscere la relazione tra comfort climatico e i parametri morfologici urbani. La conoscenza del clima locale è infatti cruciale per la pianificazione: gli effetti della forma urbana variano a seconda delle diverse condizioni climatiche.

La tesi ha quindi analizzato, nel contesto della crisi climatica, i vantaggi della digitalizzazione della città, la quale può contribuire a migliorare la pianificazione e la gestione, e ne ha sottolineato gli aspetti ancora poco valorizzati dimostrando quindi i suoi i limiti.

Bibliografia

capitolo 7

Problemi urbani

Faroldi, E., 2018 “Prologue”, *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (1), pp. 7-8.

Dede, E., 2020. *La progettazione bio-ispirata: l’innovazione delle tecnologie naturali in risposta al cambiamento climatico*. Laurea magistrale, Politecnico di Torino.

Kim, K., 2017. *Evolution of Climate Resilience and Low-Carbon Smart City Planning: A Process. Low-Carbon Smart Cities*, pp.1-76.

Garcia, E., 2021. *El CAmbio climatico uno del los objetivos de las smart cities*. [Blog] Forum Calidad 279.

Caldeira, I., Carlsson, J. and Christidis, P., 2019. *The future of cities: opportunities, challanges and the way forward*. EUR (Luxembourg. Online), pp.25-28, 83-84.

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfeld, 2018. IPCC: Global Warming of 1.5°C. *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, cap.3.

Schiavon, S., Zecchin, R. 2007. *Climate Change 2007: Causes, impacts, mitigation*. UC Berkeley: Center for the Built Environment. pp.2-4.

Le innovazioni delle citta’

Carmelo Carbone, 2019. *Le smart city e i piccoli centri: Il ruolo della tecnologia e dello spazio virtuale per la rigenerazione urbana sostenibile. Un progetto digitale per Scicli*. Tesi magistrale, Politecnico di Torino, pp.66-87.

Smart city

Bich Ngoc Nguyen, T. and Linh Do, T., 2021. *Some solutions of “Smart city” in response to urban climate change.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 869, pp.1-3.

Garca Fernández, C. & Peek, D., 2020. *Smart and Sustainable? Positioning Adaptation to Climate Change in the European Smart City. Smart Cities*, 3(2), pp.511–526. Available at:

http://dx.doi.org/10.3390/smartcities3020027.

Hemment, D. and Townsend, A., 2013. *Smart citizen*. 1st ed. Manchester: Future Everything.

Ratti, C., 2013. *Smart city, smart citizen*. 1st ed. Milano: Egea.

Perboli, G., Fedorov, S. and Rosano, M., 2021. *The European Concept of Smart City: A Taxonomic Analysis*.

Garnett, R. and Adams, M., 2018. LiDAR, *A Technology to Assist with Smart Cities and Climate Change Resilience: A Case Study in an Urban Metropolis*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(5), p.161.

Cenere, S., 2017. *Smart city e adattamento ai cambiamenti climatici: i casi Genova e Copenhagen a confronto*. Archivio di studi urbani e regionali, (118), pp.141-161.

Madakam, Somayya, 2014. *Smart Cities - Six Dimensions* (A Scholarstical Articles Review). International Journal Of Advances In Computer Science And Its Applications. 4.

Jucevičius, R., Patašienė, I. and Patašius, M., 2014. *Digital Dimension of Smart City: Critical Analysis*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 156, pp.146-150.

Nam, T. and Pardo, T., 2011. *Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions*. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference on Digital Government Innovation in Challenging Times.

Deng, T., Zhang, K., Shen., Z., 2021. *A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities*. Journal of Management Science and Engineering, Volume 6, pp.1-8.

Tecnologie

Ratti, C., 2017. *La città di domani: come le reti stanno cambiando il futuro urbano*. Giulio Einaudi Editore, parte I.

Giaveno, S., 2021. *Smart City and Digital Twins*. Advances in Civil and Industrial Engineering, pp.243-264.

Perboli, G., Fedorov, S. and Rosano, M., 2020. *The European Concept of Smart City: A Taxonomic Analysis*. 2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC).

Batty, M. (2013), *Big data, smart cities and city planning*, Dialogues in Human Geography, 3(3), pp. 274–279.

Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N. et al. *Applications of big data to smart cities*. J Internet Serv Appl 6, 25 (2015).

Katarzyna Nowicka, *Smart City Logistics on Cloud Computing Model*, Procedia, Social and Behavioral Sciences, Volume 151, 2014, Pages 266-281.

Dadi Sanyasi Naidu. *GIS Applications to Smart Cities*. International Journal of Advanced Multidisciplinary Scientific Research (IJAMSR). Vol 1, Issue 1,2018, pp5-7.

Elhoseny, Hisham & Elhoseny, Mohamed & Abdelrazek, Samir & El-Bakry, Hazem & Riad, Alaa el-din. (2016). *Utilizing Service Oriented Architecture (SOA) in Smart Cities*. International Journal of Advancements in Computing Technology. 8. pp.77-84.

Hammi, B., Khatoun, R., Zeadally, S., Fayad, A. and Khoukhi, L., 2018. *IoT technologiesfor smart cities*. IET Networks, 7(1), pp.1-13.

Chaohua, l., 2014. *The framework of smart city based on cloud computing*. 10th ed. jiangsu: bio technology, pp.11646-11647.

Dembski, Fabian, Uwe Wössner, Mike Letzgus, Michael Ruddat, and Claudia Yamu. 2020. *Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany" Sustainability*, 12, p.1-3

Dembski, F., Wössner, U. and Letzgus, M., 2019. *The Digital Twin Tackling Urban Challenges with Models, Spatial Analysis and Numerical Simulations in Immersive Virtual Environments. Blucher Design Proceedings*, pp.795-803.

Kaur, M., Mishra, V. and Maheshwari, P., 2019. *The Convergence of Digital Twin, IoT, and Machine Learning: Transforming Data into Action. Internet of Things*, pp.3-17.

Casi studio

Secchi, B., 2013. *La città dei ricchi e la città dei poveri*. Roma: Laterza, pp.3-13.

City of Helsinki. *From Agenda to Action: Implementation of the UN Sustainable Development Goals in Helsinki 2021*.

City of Helsinki. *The Most Functional City In The World: Helsinki City Strategy 2017–2021*.

City of Helsinki. 2021. *City of Helsinki Expands Digitalization with Citywide Digital Twin*.

Bentley Systems.

Lee, S., Kwon, H., Cho, H., Jongbok, K. and Lee, D., 2016. *International Case Studies of Smart Cities. Singapore, Republic of Singapore*. Inter-American Development Bank, pp.11-23.

Sharifi, A., 2021. *Co-benefici e sinergie tra la mitigazione del cambiamento climatico urbano e le misure di adattamento: una revisione della letteratura*. Scienza dell'ambiente totale, 750, p.141642.

Pollo, R., Trane, M., 2021. *AAdaptation, Mitigation, and Smart Urban Metabolism*. Palermo University Press, pp.74-85.

2018. *Strategy Smart city Zurich*. p.p.1-15.

Schrotter, G. and Hürzeler, C., 2020. *The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning*. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 88(1), pp.99-112.

Jones, P., 2014. *Smart energy regions*. Cardiff, UK: The Welsh School of Architecture, Cardiff University pp.1- 18.

Kubina, M., Šulyová, D. and Vodák, J., 2021. *Comparison of Smart City Standards, Implementation and Cluster Models of Cities in North America and Europe*. Sustainability, 13, p.p.1-15.

Schrotter, G. and Hürzeler, C., 2020. *The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning*. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 88, pp.99-112.

Musiolik, J. and Carabias-Hütter, V., 2020. *Smart city guideline report*. pp.27-44.

Van Der Hoeven, F. e Wandl, A., 2018. *Hotterdam: mappare le dimensioni sociali, morfologiche e di uso del suolo dell'isola di calore urbana di Rotterdam*. Urbani izziv, 29, pp.58-72.

Banihashemi, F., Maderspacher, J., Brasche, J., Lang, W.,2017. *Effectiveness of passive climate adaptation measures in residential buildings in Germany*, pp.173-185.

Moshrefzadeh, M., Machl, T., Gackstetter, D., Donaubauer, A. e Kolbe, T., 2020. *Towards a Distributed Digital Twin of the Agricultural Landscape*. Journal of Digital Landscape Architecture, 5, pp.173-186.

Kenkmann, T., Hesse, T., Hülsmann, F. and Timpe, C., 2017. *Klimaschutzziel und – strategie München 2050*.

Vlčková, J., Kaspříková, N. and Vlčková, M., 2018. *Technological relatedness, knowledge space and smart specialisation: The case of Germany*. Moravian Geographical Reports, 26(2), pp.95-108.

Bormann, R., Christmann, A., Faber, W., Fuchs, T., Groß, M., Heuser, T., Jensen, A., Pahl-Weber, E., Schönknecht, C., Stuber, M. and Weis, P., 2021. *Smart city - social city*.

Knutov, E., De Bra, P., Pechenizkiy, M., 2011. *Generic Adaptation Process*. Journal of Digital Information,12.

Shahat, E., Hyun, C. and Yeom, C., 2021. *City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda*. Sustainability, 13(6), p.3386.

Gauthier, P., Gilliland, J., 2006. *Mapping Urban Morphology: A Classifcation Scheme for Interpreting Contributions to the Study of Urban Form*. Geography Publications, 111.

Matzarakis, A., Mayer, H., 2008. *Learning from the past: Urban climate studies in Munich*.

Schirmer, P. and Axhausen, K., 2021. *A multiscale classification of urban morphology*.

S. Grafakos, G. Viero, D. Reckien, K. Trigg, V. Viguie, A. Sudmant, C. Graves, A. Foley, O. Heidrich, J.M. Mirailles, J. Carter, L.H. Chang, C. Nador, M. Liseri, L. Chelleri, H. Orru, K. Orru, R. Aelenei, A. Bilska, B. Pfeiffer, Q. Lepetit, J.M. Church, M. Landauer, A. Gouldson, R. Dawson, *Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment*, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 121. 2020. pp.4-12.

European Commission, 2021. *Building a Climate-Resilient Future, A new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*, Brussels.

Gerhard, Curdes. 2010. *Urban Morphology And Climate Change. Which Morphology Can Survive?*. 17th Conference International Seminar on urban form, pp.14-15.

Ruohomäki, T., Airaksinen, E., Huuska, P., Kesäniemi, O., Martikka, M. and Suomisto, J., 2018. *Smart City Platform Enabling Digital Twin*. pp.1-7.

Sitografia

capitolo 8

Problemi urbani

Publications.jrc.ec.europa.eu. 2021. *JRC Publications Repository*. [online] Available at: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC116711> [Accessed 20 May 2021].

Ipcc.ch. 2021. *Global Warming of 1.5 ºC* . [online] Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/> [Accessed 20 May 2021].

Ritchie, H. and Roser, M., *2018. Urbanization*. [online] Our World in Data. Available at: <https://ourworldindata.org/urbanization> [Accessed 28 May 2021].

Smart city

Rinnovabili.it. 2021. *La smart city crea più problemi di quanti ne risolve?* [online]Available at: <https://www.rinnovabili.it/greenbuilding/smart-city/smart-city-crea-problemi-222/> [Accessed 25 April 2021].

Battistoni, F., 2021. Nicos Komninos: *la smart city nasce dall'intelligenza collettiva - FPA*. [online] FPA. Available at: <https://www.forumpa.it/citta-territori/nicos-komninos-la-smart-city-nasce-dallintelligenza-collettiva/> [Accessed 25 April 2021].

CB Insights Research. 2021. *What is a Smart City?* [online] Available at: <https://www.cbinsights.com/research/what-are-smart-cities/> [Accessed 2 September 2021].

Tecnologie

Copadata.com. 2021. *Significato di Iot e IIot* – (Industrial) Internet of Things. [online] Available at: <https://www.copadata.com/it/prodotti/platform-editorial-content/significato-di-iot-e-iiot-industrial-internet-of-things/> [Accessed 28 May 2021].

Reply.com. 2021. *5G and smart cities: smarter solution for a hyperconnected future*. [online] Available at: <https://www.reply.com/en/industries/telco-and-media/5g-smart-cities> [Accessed 2 August 2021].

Shahrour, I., 2018. *Use of GIS in Smart City Projects*. [online] Gim-international.com. Available at: <https://www.gim-international.com/content/article/use-of-gis-in-smart-city-projects> [Accessed 2 September 2021].

Baker, M., 2020. *The importance of GIS technology within a smart city framework*. [online] American City and County. Available at: <https://www.americancityandcounty.com/2020/06/17/the-importance-of-gis-technology-within-a-smart-city-framework/>

[Accessed 10 October 2021].

McKinsey Global Institute, 2018. *Città intelligenti: soluzioni digitali per un futuro più vivibile*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/smart-cities-digital-solutions-for-a-more-livable-future#> [Accessed 2 August 2021].

Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N. and Al-Jaroodi, J., 2021. *Applications of big data to smart cities*. [online] Springer Open. Available at: <https://jisajournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13174-015-0041-5> [Accessed 25 August 2021].

SearchDataManagement. 2021. *What is Big Data and Why is it Important?*. [online] Available at: <https://searchdatamanagement.techtarget.com/definition/big-data> [Accessed 25 August 2021].

Medium. 2019. *What Is Service-Oriented Architecture?*. [online] Available at: <https://medium.com/@SoftwareDevelopmentCommunity/what-is-service-oriented-architecture-fa-894d11a7ec> [Accessed 22 August 2021].

El Hajj, p. and Brimson, H., n.d. *National Digital Twin Programme | Centre for Digital Built Britain*. [online] Cdbb.cam.ac.uk. Available at: <https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-do/national-digital-twin-programme> [Accessed 29 November 2021].

Casi studio

BBC News. 2021. *What is climate change? A really simple guide*. [online] Available at: <https://www.bbc.com/news/science-environment-24021772> [Accessed 15 October 2021].

Iberdrola. 2021. *Adapting to climate change: what will the Earth look like in 2030?*. [online] Available at: <https://www.iberdrola.com/environment/climate-change-mitigation-and-adaptation> [Accessed 15 October 2021].

website, Nasa, 2021. *Climate Change Adaptation and Mitigation*. [online] Climate Change: Vital Signs of the Planet. Available at: <https://climate.nasa.gov/solutions/adaptation-mitigation/> [Accessed 15 October 2021].

Sustaineurope.com. 2019. *Smart Helsinki*. [online] Available at: <https://www.sustaineurope.com/smart-helsinki-20191025.html> [Accessed 15 October 2021].

Divercity. 2018. *In Helsinki, a healthy vision of the smart city - Divercity*. [online] Available at: <https://www.divercitymag.be/en/in-helsinki-a-healthy-vision-of-the-smart-city/> [Accessed 15 October 2021].

Helsingin kaupunki. 2021. *Valinnat, ohjelmat ja painopisteet*. [online] Available at: <https://www.hel.fi/wps/portal/HelsinkiV2/!ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz-0vMAfIjo8zizQwtzAwNLYx8LUJDTQwcnTz8jCxDXIwNDIz0C7IdFQHz8e60/?current=true&urile=hki%3Apath%3A%2FhelsinkiV2%2Ffi%2Fkaupunki-ja-hallinto%2Fstrategia-ja-talous%2Fkaupunkistrategia%2Fvalinnat-ohjelmat-painopisteet%2F#painopiste2> [Accessed 15 September 2021].

irtualcitySYSTEMS. n.d. *virtualcityMAP - 3D-Stadtmodelle im Browser*. [online] Available at: <https://kartta.hel.fi/3d/#/> [Accessed 15 September 2021].

Kartta.hel.fi. 2017. *Helsingin 3D-mallit*. [online] Available at: <https://kartta.hel.fi/3d/mesh/> [Accessed 15 September 2021].

Geoweeknews.com. 2017. *City Model of the Future: Helsinki 3D+*. [online] Available at: <https://www.geoweeknews.com/sponsored/city-model-future-helsinki-3d> [Accessed 15 September 2021].

Hri.fi. 2021. *3D models of Helsinki - Helsinki Region Infoshare*. [online] Available at: <https://hri.fi/data/en_GB/dataset/helsingin-3d-kaupunkimalli> [Accessed 15 September 2021].

Hlrs.de. 2020. *Using Digital Twins to Design More Sustainable Cities*. [online] Available at: <https://www.hlrs.de/news/detail-view/2020-05-07/> [Accessed 20 October 2021].

Appunn, K., Eriksen, F. and Wettengel, J., 2021. *Germany's greenhouse gas emissions and energy transition targets*. [online] Clean Energy Wire. Available at: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets> [Accessed 20 October 2021].

Website of the Federal Government. 2021. *What the government is doing for the climate*. [online] Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-en/issues/climate-action/government-climate-policy-1779414> [Accessed 20 October 2021].

Wray, S., 2020. *How a small German town is using an advanced digital twin* - Cities Today. [online] Cities Today. Available at: <https://cities-today.com/how-a-small-german-town-is-using-an-advanced-digital-twin/> [Accessed 20 October 2021].

Edb.gov.sg. 2021. *Singapore: Southeast Asia's testbed for smart city solutions*. [online] Available at: <https://www.edb.gov.sg/en/business-insights/insights/singapore-southeast-asia-s-testbed-for-smart-city-solutions.html> [Accessed 15 October 2021].

Urban Redevelopment Authority. 2021. *Adapting to Climate Change*. [online] Available at: <https://www.ura.gov.sg/Corporate/Planning/Master-Plan/Themes/A-Sustainable-and-Resil-

ient-City-of-the-Future/Adapting-To-Climate-Change> [Accessed 15 October 2021].

GWPrime. 2021. *Virtual Singapore - Building a 3D-Empowered Smart Nation.* [online] Available at: <https://www.gwprime.geospatialworld.net/case-study/virtual-singapore-building-a-3d-empowered-smart-nation/> [Accessed 15 October 2021].

Tania, A., 2021. *Success story: the transformation of Singapore into a sustainable garden city.* [online] Tomorrow.city. Available at: <https://www.tomorrow.city/a/singapore-transformation-garden-city> [Accessed 15 October 2021].

zUrbanisten.nl. 2013. [online] Available at: <http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB_RAS_EN_lr.pdf> [Accessed 10 October 2021].

S3.eu-central-1.amazonaws.com. 2021. [online] Available at: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/storage.resilientrotterdam.nl/uploads/2017/11/09115607/strategy-resilient-rotterdam.pdf> [Accessed 15 October 2021].

Rotterdam, G. Rotterdam 3D. [online] *Gemeente Rotterdam*. Available at: <https://www.3drotterdam.nl/#/> [Accessed 8 October 2021]. 2013. De Urbanisten in collaborazione con il Management team di Rotterdam Climate Proof (RCP). Città di Rotterdam.

De Santis, R., Fasano, A., Mignolli, N. and Villa, A., 2014. *Smart city: fact and fiction* - Munich Personal RePEc Archive. [online] Mpra.ub.uni-muenchen.de. Available at: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/54536/> [Accessed 12 October 2021].

Smarter-together.eu. 2021. *We are Smarter Together* | SMARTER-TOGETHER. [online] Available at: <https://www.smarter-together.eu/> [Accessed 10 October 2021].

Khalid, A. and Long, W., 2010. *Adaptation as a Response to Climate Change: A Literature Review* - Munich Personal RePEc Archive. [online] Mpra.ub.uni-muenchen.de. Available at: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/45024/> [Accessed 13 October 2021].

IMD business school. 2021. *Smart City Index*. [online] Available at: <https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/> [Accessed 15 October 2021].

City2city.network. 2020. *Singapore, Helsinki and Zurich top index of world's smartest cities* | City2City. [online] Available at: <https://city2city.network/singapore-helsinki-and-zurich-top-index-worlds-smartest-cities> [Accessed 15 October 2021].

Urbanisten.nl. 2013. [online] Available at: <http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB_RAS_EN_lr.pdf> [Accessed 10 October 2021].

S3.eu-central-1.amazonaws.com. 2021. [online] Available at: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/storage.resilientrotterdam.nl/uploads/2017/11/09115607/strategy-resilient-rotterdam.pdf> [Accessed 15 October 2021].Rotterdam, G. *Rotterdam 3D*. [online] Gemeente Rotterdam. Available at: <https://www.3drotterdam.nl/#/> [Accessed 8 Octoberr 2021].

duurzaam010. 2013. *Rotterdam climate change adaptation strategy.* [online] Available at: <http://www.rotterdamclimateinitiative.nl> [Accessed 13 September 2021].

Kanton Zürich. 2021. *Massnahmenpläne Klima*. [online] Available at: <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/klima/massnahmenplaene.html> [Accessed 3 November 2021].

GmbH, S., 2020. *Interventions - MySMARTLife*. [online] Mysmartlife.eu. Available at: <https://www.mysmartlife.eu/interventions/> [Accessed 25 October 2021].

Uutta Helsinkiä. 2019. Helsingin 3D-kaupunkimalli tarjoaa uusia mahdollisuuksia kaupunkisuunnittelulle. [online] Available at: <https://www.uuttahelsinkia.fi/fi/uutiset/2019-01-11/helsingin-3d-kaupunkimalli-tarjoaa-uusia-mahdollisuuksia-kaupunkisuunnittelulle>[Accessed 25 October 2021].

Eden strategy institute. 2021. *Can Digital Twins Transform Singapore's Built Environment?*. [online] Available at: <https://www.edenstrategyinstitute.com/2021/08/04/is-digital-twin-technology-the-key-to-transforming-singapores-built-environment-industry/> [Accessed 21 October 2021].

Muggah, R. and Sekula, J., 2021. *Rio de Janeiro Faces Perfect Storm of Climate Change.* [online] Foreign Policy. Available at: <https://foreignpolicy.com/2021/03/27/rio-de-janeiro-natural-disasters-climate-change-urban-planning-adaptation/> [Accessed 30 October 2021].

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro vogliamo ringraziare tutte le persone che hanno creduto in noi, aiutandoci a raggiungere questo traguardo.

In primo luogo, ringraziamo il nostro relatore, il professore Guido Callegari, e il correlatore, l'architetto pianificatore Guglielmo Ricciardi, che hanno accettato di guidarci in questo percorso. Vi ringraziamo per i consigli e per le conoscenze che ci avete trasmesso nei diversi step della stesura dell'elaborato.

Ringraziamo anche le nostre famiglie e tutti coloro che ci sono stati accanto, per aver avuto sempre fiducia in noi e per averci sempre incoraggiato fin dall'inizio del percorso universitario.