

POLITECNICO DI TORINO

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E
IL TERRITORIO**



Indicatori di sostenibilità della gestione della risorsa idrica: il caso Torino

Candidato: Fulvio Porporato

Relatore: Mariachiara Zanetti

Matricola: 247027

Co-Relatore: Deborah Panepinto

Anno: 2020

Sommario

Introduzione	4
Stato dell’arte	6
Descrizione del metodo.....	14
Approfondimento sugli indici	16
Water Stress	16
Green Space.....	17
Flood Risk.....	17
Storm Risk.....	18
Water Balance	21
Reserve Water	23
Leakage.....	24
Water Charge.....	24
Metered Water.....	25
Reused Wastewater	25
Service Continuity.....	25
Sanitation.....	26
Drinking Water	26
Treated Wastewater.....	26
Water Related Diseases.....	26
Threatened Freshwater Amphibians	27
Raw Water Pollution.....	29
Caso Studio: Città di Torino	31
Water Stress	31
Green Space.....	32
Flood Risk.....	33
Storm Risk.....	34
Water Balance	37
Reserve Water	39
Leakage.....	40
Water Charges	41
Metered Water.....	42

Reused Wastewater	42
Service Continuity.....	43
Sanitation.....	44
Drinking Water	44
Treated Wastewater.....	44
Water Related Diseased	45
Threatened Freshwater Amphibian Species	46
Raw Water Pollution.....	46
Risultati.....	50
Analisi Critica e Conclusioni.....	52
Bibliografia.....	55
Sitografia.....	56

Introduzione

Nel corso dei secoli il concetto di città ha subito variazioni considerevoli, in linea con l'avanzamento del progresso e dello stile di vita dei suoi abitanti. Nei tempi antichi le città venivano costruite e mantenute secondo la necessità di difendersi dalle invasioni, nell'era industriale ha assunto importanza l'aspetto del commercio e della produzione; solo in tempi recenti le città sono diventate dei poli in cui conseguire un certo sviluppo intellettuale, avvicinandosi al concetto di "smart city". Questo ha contribuito ad un'ulteriore migrazione della popolazione nei centri urbani, aumentando di conseguenza il numero e la tipologia delle necessità degli abitanti.

Per raggiungere il traguardo di smart city è necessaria una certa pianificazione, la quale richiede come base una visione globale della città, in modo da individuare e definire i punti deboli con una certa efficacia e determinarne contemporaneamente i punti forti per capire in che direzione muoversi. Uno degli aspetti che deve rientrare in queste valutazioni è la sostenibilità: una città sostenibile è infatti meno dipendente dalle risorse provenienti dall'ecosistema, è maggiormente in grado di mitigare i cambiamenti climatici ed ha meno difficoltà a adattarsi a quelli già in atto, senza comunque trascurare la qualità della vita dei propri abitanti.

Una delle sfide che interesseranno le città negli anni a venire, in ambito di sostenibilità, sarà una corretta ed efficace gestione dell'acqua. Tra gli effetti più importanti dell'attuale crisi climatica c'è la riduzione della disponibilità di risorsa idrica: gli aumenti delle temperature hanno molteplici conseguenze, tra cui lo scioglimento dei ghiacciai ed una maggiore evaporazione (e quindi la diminuzione delle riserve d'acqua dolce con una conseguente desertificazione dei terreni e l'aumento dell'umidità atmosferica, con un'estremizzazione degli agenti atmosferici e una maggiore frequenza di inondazioni). A questo si aggiunge anche l'attività antropica diretta, con l'inquinamento delle fonti disponibili e l'uso eccessivo di acqua grezza, dovuto anche ad un generale aumento delle richieste.

Una corretta gestione, in ottica sostenibile, della risorsa idrica è quindi essenziale per prepararsi ad un futuro più incerto, per inserirsi in un modello di economia sempre più circolare e per consentire un'adeguata qualità della vita ai propri cittadini, dai quali dipende lo sviluppo della città stessa. Chi si dimostra virtuoso in questo senso trasmette, inoltre, maggiore sicurezza, oltre che agli abitanti, ad eventuali investitori ed ha quindi più possibilità di elevare la propria posizione rispetto ad altri.

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di trovare un metodo che permetta di quantificare determinati aspetti ambientali, legati alla sostenibilità della risorsa idrica per una città. I risultati potranno in seguito essere commentati ed impiegati per adottare adeguate politiche e per un confronto con altre realtà, da cui trarre ispirazione o per cui essere un esempio.

A seguito della spiegazione del metodo, vi è una dimostrazione applicata alla città di Torino; i risultati vengono infine commentati.

Stato dell'arte

La ricerca di una definizione concreta di certi aspetti per una città è ormai attiva da alcuni decenni e quasi sempre passa per l'uso di indici. Per indice si intende un'aggregazione di indicatori, che mira a fornire una visione coerente, sebbene semplificata, di un sistema: esso si deve basare su dati e su metodi oggettivi, in modo da poter essere applicato anche a casistiche molto differenti. Dovrebbe avere un obiettivo che permetta un confronto con la situazione attuale e dovrebbe anche tenere in considerazione la possibilità di dover cambiare col tempo per doversi adeguare.

Gli usi più comuni per i set di indici sono suddivisibili in 3 categorie:

- Esplicativo, inteso cioè come strumento divulgativo usato per dare un'idea dello stato attuale dell'aspetto in esame;
- Pilota, utile per assistere la definizione di politiche volte al raggiungimento di certi obiettivi;
- Valutativo di performance, dei tre sicuramente il più diffuso in ambito di sostenibilità.

Ad oggi non esistono degli indici universalmente riconosciuti. Nel corso degli ultimi decenni sono stati portati a termine numerosi studi sulla creazione e sull'uso di indici, principalmente per definire lo stato di una città. Tali studi sono stati eseguiti da enti differenti, di carattere nazionale e internazionale, senza un vero e proprio criterio condiviso; per tanto la natura e la procedura di calcolo dei vari indici dipendono sia dall'obiettivo dello studio sia dalle necessità degli analisti, nonché dai dati a disposizione che possono presentarsi in più forme. Ciò ha portato allo sviluppo di molti set di indici, non standardizzati e non sempre capaci di mantenere la propria efficacia nel tempo (ad esempio perché impiegati per scopi di natura politica, e quindi creati con la consapevolezza che sarebbero stati usati fino al presentarsi di nuove priorità). In linea di massima gli indici creati da enti internazionali hanno una maggiore solidità e permettono un confronto abbastanza oggettivo tra le città che vengono sottoposte alla loro valutazione, ma tendono ad interessarsi a una sola categoria (come la tecnologia, l'economia, l'ambiente...) e ad avere metodi di calcolo relativamente semplici, che prevedono spesso l'uso della percentuale rispetto ad un valore ideale.

Tra gli indicatori più importanti vengono citati i seguenti.

Arcadis Sustainable City Index (Arcadis)

È definito da 3 sotto-indici (People, Planet e Profit) per un totale di 20 indicatori. La struttura di questo indice richiede i dati di più città per avere un confronto immediato, andando ad assegnare in una scala percentuale, per ogni indicatore, il valore nullo alla città peggiore ed il valore massimo alla città migliore, inserendo le altre nel mezzo in proporzione al proprio risultato. È un tipo di indice pilota. Sempre Arcadis ha sviluppato un indice che valuta la sostenibilità nell'aspetto delle acque in una città, spiegato più nel dettaglio in seguito.

Global City Indicator Facility and ISO 37120

È basato sulla norma in questione (che valuta a sua volta la qualità della vita e dei servizi forniti da una città), costituita da 17 temi principali in cui si suddividono 100 indicatori (di cui 46 chiave e 54 consigliati), di cui la maggior parte è espressa in percentuale; la procedura impiegata va a premiare le città che forniscono un maggior quantitativo di dati.

City Anatomy (City Protocol Society)

Basato anche esso sulla norma ISO 37120, sfrutta 105 indicatori chiave più altri 93 indicatori consigliati.

European Green Capital Award

Nato da un'iniziativa di 15 città europee e l'Association of Estonian Cities, con un set di 12 indicatori nella sua ultima iterazione (2019), funziona bene sia come strumento esplicativo che come strumento pilota; tramite una giuria viene assegnato il titolo alla città più virtuosa, che raggiunge quindi un certo prestigio.

TU-Wien European Smart Cities (TU-Wien)

Formato da sei campi principali all'interno dei quali sono raccolti 90 indicatori; per ogni campo gli indicatori vengono prima standardizzati e poi mediati.

Ericissons' Networked Society city index

Costituito da una struttura a piramide che vede in cima due macro-settori (ICT, Information and Communication Technology e TBL, Triple Bottom Line) composti da tre elementi ciascuno di uguale importanza definiti da un numero di variabili che va da due a quattro definite a loro volta dall'aggregazione di un certo numero di proxies, al fondo della gerarchia (Figura 1).

Figure 14 The composition of the Networked Society City Index

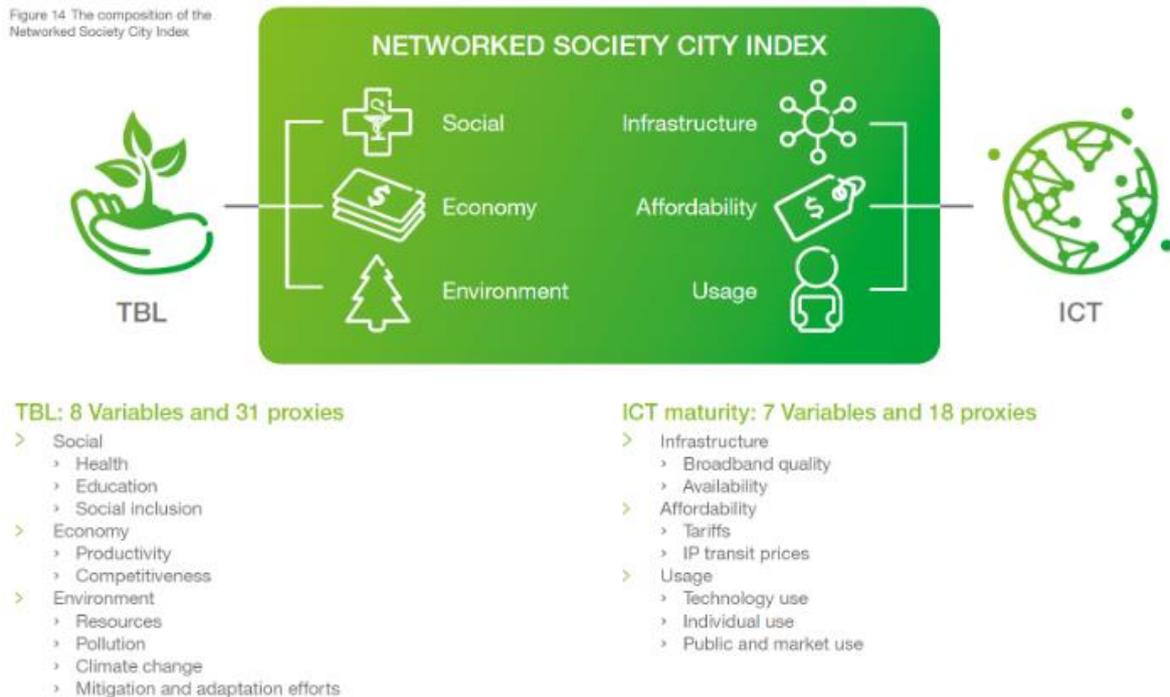


Figura 1. Struttura del Networked Society City Index

Seguendo la struttura a piramide l'aggregazione avviene di livello in livello, fino alla cima, assegnando ad ogni indicatore un'importanza differente. È stato pensato come strumento pilota.

Siemens Green City Index

È caratterizzato da un set differente per differenti macro-zone nel mondo (Europa, Stati Uniti e Canada, Africa, Asia e America Latina). Il numero di indicatori cambia in base alla zona: in media sono una trentina, divisi in otto categorie e pesati in maniera diversa l'uno dall'altro. L'uso di set differenti per le macro-zone elencate ha lo svantaggio di non consentire confronti al di fuori dell'area in questione, ma toglie la necessità di doversi riferire a database globali che, data la larga copertura geografica, spesso non presentano un grado di dettaglio sufficiente.

Sustainable Development Goal Indicators (ONU)

Tra il 25 ed il 27 settembre del 2015 le Nazioni Unite hanno pubblicato la "2030 Agenda for Sustainable Development", con un totale di 17 goals da raggiungere entro il 2030 con il fine ambizioso di eliminare la povertà in ogni sua forma. Ognuno di questi 17 goals è suddiviso in un certo numero di obiettivi più specifici, ciascuno dei quali è a sua volta rappresentato da uno o più indicatori, per un totale di, ad oggi, 232, calcolati prevalentemente come valore assoluto successivamente normalizzato.

Dagli esempi riportati si intuisce come i vari indici differiscano l'uno dall'altro, soprattutto per numero di indicatori, sebbene gli aspetti rappresentati siano, in linea generale, gli stessi. La tecnica di calcolo più comune è la percentuale, data la sua semplicità e la possibilità di confrontare più risultati, ma non mancano le eccezioni; il risultato è solitamente esprimibile con un unico numero o con la posizione in una graduatoria anche se questo comporta una certa perdita di informazioni, soprattutto dove si hanno molti sottoindici. Risulta difficile individuare il corretto numero di indicatori, in quanto un numero elevato permette di rappresentare più nel dettaglio una data realtà ma rende l'analisi più lunga e complessa, aumentando inoltre la probabilità di non ultimare i calcoli per mancanza di dati; questa è anche la ragione che spinge molto sull'uso della percentuale, per la sua semplicità. Viceversa, un numero contenuto di indicatori permette anche di sviluppare metodologie più elaborate, che vanno oltre la sola percentuale, ma che rischiano di non essere abbastanza significativi per l'aspetto che si intende rappresentare.

Viene ora riportato più nello specifico un metodo per classificare una città rispetto alla sostenibilità delle acque, da cui si è preso ispirazione per il lavoro in oggetto.

Sustainable Cities Water Index (Arcadis)

La metodologia utilizzata viene riportata direttamente con l'applicazione ad un set di 50 città, in quanto il risultato finale è la posizione in una graduatoria che rispecchi le performance della città. Tale posizione dipende da tre indicatori: resilienza, efficienza e qualità, ognuno definito da una serie di 6 o 7 sotto-indici. Le città incluse in questo studio sono state selezionate non solo per la loro importanza ma anche per il rapporto che hanno avuto e che continuano ad avere con l'acqua a livello commerciale, urbanistico e storico, andando a costruire un set vario sia a livello geografico che a livello di sviluppo economico.



Figura 2. Struttura del Sustainable Cities Water Index

I sotto-indici vengono descritti di seguito, in riferimento ad ogni indicatore.

Resilienza

Una città resiliente riesce a superare tempestivamente le crisi legate all'acqua e gli eventi estremi, mantenendo i servizi di fornitura idrica attivi in tali periodi. La resilienza è fortemente influenzata dal quantitativo di risorsa disponibile e dalla vulnerabilità di una città verso i problemi come le inondazioni e la siccità. Gli indicatori sono:

- Water Stress (WS): prelievo di acqua dal totale disponibile delle riserve naturali locali;
- Green Space (GS): porzione del territorio cittadino coperto da spazi verdi;
- Water-Related Disaster Risk (WRDR): numero di disastri legati all'acqua a cui è soggetta la città tra cui inondazioni, tempeste, siccità e colate detritiche;
- Flood Risk (FR): numero di inondazioni verificatesi tra il 1985 ed il 2011;
- Water Balance (WB): bilancio mensile tra le carenze d'acqua e i surplus della pioggia;
- Reserve Water (RW): capacità dei serbatoi d'acqua in un raggio di 100 km in relazione alle riserve d'acqua totali;

Le città di Rotterdam, Amsterdam e Copenaghen rispettivamente hanno conquistato il podio della resilienza grazie alle misure di contenimento delle inondazioni, nonché grazie

alla diffusione delle zone verdi; il tutto nonostante la posizione sfavorevole rispetto al livello del mare per le città olandesi. Viceversa, città come Los Angeles sono state penalizzate per la scarsità nelle riserve d'acqua e per la frequenza con cui sono soggette a siccità

Efficienza

Una gestione efficiente dell'acqua permette agli utenti di usare la risorsa evitando gli sprechi senza però renderla un lusso, riducendo le perdite e reimpiegando l'acqua reflua in favore all'acqua grezza.

- Leakage (L): porzione di acqua persa durante il trasporto, tenendo conto anche dei consumi non fatturati, perdite apparenti e fisiche;
- Water Charges (WC): costo medio di un metro cubo d'acqua in relazione al reddito medio cittadino;
- Metered Water (MW): percentuale di famiglie il cui consumo d'acqua è misurato;
- Reused Wastewater (RWw): porzione dell'acqua reflua che viene reimpiegata rispetto al totale di acqua reflua prodotta;
- Service Continuity (SC): continuità del servizio di erogazione dell'acqua come media giornaliera di ore di attività;
- Sanitation (S): percentuale di famiglie con accesso a sistemi sanitari;
- Drinking Water (DW): percentuale di famiglie con accesso ad acqua potabile;

Se la scarsità di risorse ha penalizzato le città californiane, è proprio questa mancanza ad aver evidenziato la necessità di migliorare l'efficienza, in particolare grazie ad un ampio riuso dell'acqua reflua: Los Angeles e San Francisco rientrano nelle prime 10 città, con Copenaghen in prima posizione, privilegiata da infrastrutture moderne che limitano le perdite in maniera considerevole.

Le città che hanno raggiunto i risultati più bassi provengono da zone con temperature in genere più alte della media, come l'India e il Medio Oriente, dove il reimpiego dell'acqua è certamente praticato ma non è abbastanza, da solo, per conferire un punteggio sufficientemente alto.

Qualità

Il raggiungimento di un certo standard di qualità dell'acqua aiuta a raggiungere anche un certo livello di qualità della vita, e ciò si riflette sugli abitanti in termini di sanità e sullo sviluppo cittadino in termini di costi di trattamento. Viene anche considerata, inoltre, l'invasività antropica sull'ambiente.

- Sanitation (S): percentuale di famiglie con accesso a sistemi sanitari;

- Drinking Water (DW): percentuale di famiglie che usano una fonte d'acqua moderna;
- Treated Wastewater (TWw): percentuale dell'acqua reflua che viene trattata;
- Water-Related Diseases (WRD): incidenza pro capite di malattie e incidenti legati all'acqua;
- Threatened Freshwater Amphibian species (TFA): percentuale delle specie di anfibi nell'area classificate come minacciate dalla International Union of Conservation of Nature;
- Raw Water Pollution (RWP): concentrazione di fosforo e rilascio dai sedimenti;
- Drinking Water (DW): percentuale di famiglie con accesso ad acqua potabile;

Molte città che hanno già raggiunto un certo livello di sviluppo hanno conseguito ottimi risultati e, nonostante Toronto sia la migliore, sono molte le città che si avvicinano alla prima posizione, in particolare nel Nord America. Le città più in fondo alla graduatoria sono state penalizzate per il basso punteggio ottenuto in Drinking Water e in Sanitation, tra gli indici più importanti perché essenziali alla qualità della vita.

Come si può notare, i sotto-indici sono abbastanza eterogenei, anche all'interno di una delle tre categorie; alcuni di essi si ripetono in quanto sono utili in più indici.

Il metodo impiegato prevede l'assegnazione di un punteggio in una scala percentuale per ogni sotto-indice, andando ad assegnare 1 alla città migliore e 0 a quella peggiore, inserendo le altre città in proporzione al loro valore intermedio (i risultati particolarmente bassi e alti vengono considerati come outliers a cui assegnare direttamente gli estremi dell'intervallo senza poi considerarli nei calcoli). In questo modo è possibile esprimere la performance di ogni città relativamente alle altre 49. Per ogni gruppo di indicatori viene calcolata una media pesata dei punteggi (i cui pesi dipendono dall'importanza relativa del sotto-indice), ottenendo così tre valori che rappresentano la resilienza, l'efficienza e la qualità e da un'ultima elaborazione di essi viene definita la posizione della città nella graduatoria. I risultati ottenuti in questi step consentono alle città di evidenziare le proprie criticità e, eventualmente, di valutare l'efficacia di soluzioni adottate tra un'iterazione e l'altra, per far fronte ai problemi riscontrati sia nella propria città che in città che costituiscono realtà simili.

È sicuramente uno strumento comparativo, da cui non è possibile ottenere l'indice per una città singolarmente in quanto l'indice stesso dipende dagli altri risultati conseguiti. Il massimo con cui avviene il confronto non è il migliore possibile, in quanto esso è la città che ha ottenuto il punteggio più alto tra tutte quelle analizzate: questo fatto conferisce agli obiettivi da porre nelle pianificazioni una certa concretezza, sebbene ci sia la possibilità che

la città relativamente più virtuosa non lo sia anche in assoluto (probabilità che va a ridursi con l'aumento del numero delle città considerate).

Descrizione del metodo

Il metodo proposto da ARCADIS permette di stilare una graduatoria avendo a disposizione i dati di un pool di città. In riferimento a questa pubblicazione, si vuole definire un metodo oggettivo che consenta di calcolare dei valori che siano rappresentativi degli indicatori precedentemente elencati per una singola città. Quindi, a differenza di Sustainable Cities Water Index, non si andrà a stilare una graduatoria per commentare il confronto, ma si andrà a concentrarsi più sulla specifica città in analisi. A valle di questi calcoli sarà possibile esprimere un parere sui risultati, individuando le vulnerabilità di cui una città dovrà occuparsi come anche i punti forti che essa dovrà mantenere; per la creazione di una graduatoria si dovrà prima passare per l'applicazione di questo metodo ad altre città.

Ad ogni sotto-indice va assegnato un valore che può variare da 0 a 100, rispettivamente il risultato peggiore e il risultato migliore possibili, mantenendo una cifra decimale. Una volta calcolati tutti i sotto-indici sarà possibile esprimere i tre aspetti della sostenibilità come media, senza assegnare dei pesi, per mantenere il risultato legato unicamente alla performance della città.

Si è ritenuto necessario modificare leggermente alcuni indicatori in quanto alcune delle fonti citate nella pubblicazione, che risale al 2016, non erano più reperibili; dove necessario, le modifiche sono state fatte anche nell'ottica di adattare il risultato finale ai dati a disposizione. Come si può notare alcuni indicatori sono descritti in maniera sommaria, il che rende necessaria un'interpretazione per la loro possibile rappresentazione. Di seguito sono elencati gli indici che rientrano nel metodo proposto.

Resilienza

- Water Stress (WS): complementare del prelievo di acqua dal totale disponibile delle riserve naturali locali;
- Green Space (GS): porzione del territorio cittadino coperto da spazi verdi;
- Flood Risk (FR): numero di inondazioni verificatesi nella città;
- Storm Risk (SR): numero di tempeste verificatesi nella città;
- Water Balance (WB): bilancio mensile tra le carenze d'acqua e i surplus della pioggia;
- Reserve Water (RW): quantità di riserve d'acqua.

Efficienza

- Leakage (L): percentuale delle perdite sulla rete;
- Water Charges (WC): costo di un metro cubo d'acqua normalizzato con il reddito medio cittadino;
- Metered Water (MW): percentuale di famiglie il cui consumo d'acqua è misurato;
- Reused Wastewater (RWw): percentuale di acqua reflua reimpiegata rispetto all'acqua reflua totale;
- Service Continuity (SC): percentuale delle ore giornaliere di servizio effettivo;
- Sanitation (S): percentuale di famiglie con accesso a servizi sanitari gestiti in sicurezza;
- Drinking Water (DW): percentuale di famiglie che hanno accesso ad una fonte di acqua potabile gestita in sicurezza.

Qualità

- Sanitation (S): percentuale di famiglie con accesso a servizi sanitari gestiti in sicurezza;
- Drinking Water (DW): percentuale di famiglie che hanno accesso ad una fonte di acqua potabile gestita in sicurezza;
- Treated Wastewater (TWw): percentuale dell'acqua reflua che viene trattata;
- Water-related Diseases (W-RD): incidenza pro capite di malattie e incidenti legati all'acqua;
- Threatened Freshwater Amphibian (TFA): Status anfibi nell'area in questione;
- Raw Water Pollution (RWP): stato di qualità ambientale complessivo dei corpi idrici nel territorio cittadino, comprendendo laghi, fiumi, acque di falda e zone costiere.

Mentre alcuni di questi numeri sono delle semplici percentuali, che dunque non richiedono ulteriori calcoli, altri parametri necessitano un processo specifico elaborato, che dipenderà dal modo in cui gli elementi in gioco influiscono sulla situazione, in quanto non saranno sempre riconducibili ad un numero da 0 a 100 nell'immediato.

Approfondimento sugli indici

In questo capitolo verranno spiegati i vari indici nel dettaglio e verrà proposta la modalità di calcolo.

Water Stress

Volendo quantificare lo stress a cui le risorse naturali sono sottoposte tramite la percentuale di acqua prelevata dal totale disponibile sarebbe necessario avere a disposizione il volume totale prelevato dalle fonti di acqua grezza, all'interno del territorio cittadino, e confrontarla con il totale delle risorse idriche a disposizione a prescindere dal tipo. Tuttavia, stimare il totale disponibile d'acqua è complicato.

Secondo la normativa italiana, un ente che necessita di prelevare acqua da fonte sotterranea o superficiale deve richiedere all'autorità competente l'autorizzazione, che viene conferita sotto forma di concessione. La concessione viene rilasciata con certi criteri, che riguardano l'utilizzo dell'acqua prelevata e la tutela della risorsa nonché del punto di prelievo, e prevede il pagamento di un canone annuo. Nel contratto di concessione, tra gli altri termini, vengono definiti due limiti:

- Portata media annua prelevabile da una fonte idrica, che dipende dal volume totale concesso e dai giorni complessivi in un anno in cui si effettua il prelievo, di solito coincidenti con i giorni totali di attività;
- Portata massima istantanea, ossia un limite che non può essere mai superato in alcun momento in quanto ciò potrebbe provocare, ad esempio, un abbassamento eccessivo del corpo idrico compromettendo l'accesso alla risorsa ad altri utenti o non consentendo, ad esempio, il deflusso minimo vitale sui corsi d'acqua. Questo valore sarà sempre maggiore della portata media annua.

Entrambi questi dati vengono espressi in l/s.

Avendo questi due dati per ogni punto di prelievo sul territorio cittadino in cui viene fatta una derivazione, il sotto-indice viene calcolato come media pesata dei complementari dei rapporti tra la portata media annua derivabile e la portata massima istantanea, usando come pesi i prodotti tra i metri cubi ed il numero di punti complessivamente concessi in ogni categoria. In questo modo si va a valutare quanto l'autorità competente consenta lo sfruttamento della risorsa, supponendo di mettere a confronto la situazione reale con una

situazione estrema, in cui la portata media annua derivabile coincida con la portata massima istantanea.

Green Space

Questo sotto-indice serve a quantificare aspetti come la capacità di accumulo di acqua dalle precipitazioni e la riduzione del fenomeno di isola termica che spesso si presenta nelle città. Comprende tutte le zone verdi, i parchi e anche la superficie ricoperta da green roofs, nonché le zone protette. Viene calcolato come rapporto tra il totale di queste aree e il territorio cittadino complessivo.

Flood Risk

Perché si verifichi un evento di inondazione è necessario che l'acqua esondi dal letto del fiume, superando un determinato livello. Ogni stazione di monitoraggio installata su un fiume ne misura il livello idrometrico, rispetto ad uno zero posizionato ad una quota fissata sul livello del mare; per ogni stazione sono definiti due limiti particolari ovvero il livello di guardia ed il livello di pericolo, al superamento dei quali vengono prese determinate precauzioni.

Per ogni fiume vanno create delle serie giornaliere di livelli idrometrici. In queste serie verranno contati tutti i casi di superamento del livello idrometrico di pericolo, in quanto il livello di guardia non è sufficiente per una esondazione. A questo punto viene applicata la seguente formula empirica:

$$FR = 100 - \left(\frac{100}{\pi/2}\right) \arctan\left(\frac{n}{p(\log_{10}p)}\right) \quad (1)$$

Dove:

- n è il numero totale di superamenti del livello di pericolo
- p è il periodo in cui sono stati raccolti i dati giornalieri, espresso in anni

La struttura della Formula (1) è stata pensata per restituire un numero compreso tra 0 e 100, supponendo che n sia sempre maggiore o uguale a 0. Maggiore è il numero di eventi, maggiormente l'arcotangente tenderà a $\pi/2$ e quindi minore sarà FR. Inoltre, non è da

trascurare l'arco di tempo in cui questi eventi si verificano, per tanto l'argomento dell'arcotangente è una sorta di frequenza (eventi/anno) in cui però viene leggermente penalizzata la scarsa disponibilità di dati: se il periodo è inferiore a 10 anni, il $\log_{10}(p)$ restituirà un numero minore di 1, che posto ad esponente del denominatore andrà a diminuirlo, aumentando il rapporto e l'arcotangente, diminuendo infine il punteggio generale.

Nel caso in cui una città presenti un solo fiume il calcolo si interrompe qui. In presenza di più fiumi gli indicatori ottenuti vanno mediati, ma considerando un peso per ciascuno di essi, che esprima quanto il fiume sia presente sul territorio. Questo peso è dato dal prodotto tra la lunghezza del tratto all'interno dei confini cittadini espressa in km e la portata media sull'arco di tempo dei dati espressa in m^3/s . Tramite questo calcolo empirico ai fiumi più importanti viene data una maggiore considerazione.

Una città priva di corsi d'acqua non correrà il rischio di inondazione che viene qui valutato, ottenendo 100. Viceversa, la presenza di più fiumi è una caratteristica penalizzante, in quanto aumenta le possibilità che ci sia un superamento su almeno un corso d'acqua, avendo come conseguenza una riduzione del punteggio, in proporzione al fiume.

Storm Risk

Un alto SR è assimilabile ad una zona poco colpita da eventi di pioggia estremi; tali eventi sono caratterizzati da un'intensità di pioggia molto forte. Non è stata trovata in bibliografia una soglia sufficientemente condivisa dalla comunità scientifica che distingua un evento di pioggia da uno estremo, pertanto viene preso in considerazione la soglia usata da Arpa Piemonte per etichettare un evento di pioggia come "Molto Forte", ovvero i 90 mm di precipitazione nell'arco delle 24 ore.

I dati di precipitazione vengono raccolti da stazioni apposite, le quali sono in grado di lavorare in continuo. Per ogni stazione presente sul territorio vanno estratti i dati di intensità di pioggia sotto forma di serie giornaliere, per mantenere l'uniformità dimensionale con il limite. Ora, nel FR ogni fiume andava considerato a sé stante in quanto un singolo superamento del livello di pericolo comportava un evento; per lo SR è diverso in quanto una tempesta può avere un raggio d'azione più ampio e frastagliato ed in uno stesso giorno si possono avere superamenti in più di un punto per lo stesso evento meteorico.

Per costruire la serie di dati è necessario consultare un database su cui vengano registrate le misure di piovosità nell'arco di 24 ore, dopo di che, per ogni stazione disponibile vanno estratti i dati entro il periodo più recente in comune ad ogni stazione. Ogni superamento dei 90 mm/24h va registrato per ogni singola stazione in ogni giorno.

A questo punto il risultato potrebbe essere rappresentato dalla somma di ogni superamento, ma questo, come detto in precedenza, non andrebbe a riprodurre fedelmente la situazione di una città, in quanto prenderebbe in considerazione eventuali ridondanze di superamenti avvenuti lo stesso giorno ma in punti diversi. Per proseguire con il calcolo di SR va prima costruita una matrice delle stazioni, nelle cui celle va riportata la distanza tra le stazioni situate sulla rispettiva riga e colonna, come riportato in esempio nella Tabella 1:

Tabella 1 - Matrice delle distanze, per n stazioni

	S_1	S_2	S_3	S_4	...	S_n
S_n	d_{n1}	d_{n2}	d_{n3}	d_{n4}	...	0
...	0	...
S_4	d_{41}	d_{42}	d_{43}	0	...	d_{4n}
S_3	d_{31}	d_{32}	0	d_{34}	...	d_{3n}
S_2	d_{21}	0	d_{23}	d_{24}	...	d_{2n}
S_1	0	d_{12}	d_{13}	d_{14}	...	d_{1n}

Questa tabella è costruita in modo da avere le stazioni in un ordine sulle ascisse e nell'ordine inverso sulle ordinate; la diagonale di zeri è costituita dai punti di incontro di ogni stazione con sé stessa, quindi la distanza relativa è nulla.

Per ogni giorno in cui non si verifica nessun superamento lo SR assumerà valore nullo, ma in presenza di almeno un superamento la matrice va modificata, rimuovendo le righe e le colonne relative alle stazioni che non hanno registrato intensità di pioggia oltre i 90 mm/24h. Supponendo, ad esempio, che in un giorno le stazioni 2 e 4 non abbiano registrato superamenti, la Tabella 1 andrà modificata come segue:

Tabella 2. Matrice delle distanze modificata

	S ₁	S ₃	...	S _n
S _n	d _{n1}	d _{n3}	...	0
...	0	...
S ₃	d ₃₁	0	...	d _{3n}
S ₁	0	d ₁₃	...	d _{1n}

Con la rimozione di un pari numero di righe e di colonne la matrice rimarrà sempre quadrata. Viene, successivamente, usata la formula seguente a partire dalla Tabella 2:

$$SR'_k = N^{\left(\frac{\left(\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{N-i+1} (d_{ij}) \right) \right)}{N * \bar{d}} \right)} \quad (2)$$

Dove:

- SR'_k = parametro dei superamenti per il giorno k-esimo;
- N = numero di stazioni in cui si è verificato un superamento;
- d_{ij} = distanza tra l'i-esima e la j-esima stazione;
- \bar{d} = distanza media tra le stazioni.
- i = numero di righe della Tabella 2;
- j = numero di colonne della Tabella 2;

La Formula 2 restituisce un valore che sarà alto in caso di più superamenti (in quanto la base dell'esponente cresce seguendo l'ordine dei numeri naturali) ed anche nel caso in cui tali superamenti avvengano a distanze notevoli, in quanto a salire sarà l'esponente stesso. Se invece lo stesso giorno vengono registrati più superamenti a brevi distanze il parametro SR'_k assumerà valori bassi, ma comunque superiori a 1 (per dare un peso adeguato ai superamenti multipli). Le distanze possono essere espresse in qualsiasi unità di misura, in quanto essa andrà semplificata nel rapporto.

Il calcolo prosegue con la somma di tutti gli SR'_k, per k che va da 1 al numero complessivo di giorni, ottenendo SR'_{tot}.

Il numero che risulta va inserito nella seguente formula:

$$SR = 100 - \left(\frac{100}{\pi/2}\right) \arctan\left(\frac{SR'_{tot}}{p}\right) \quad (3)$$

Dove p è il periodo considerato, espresso in anni. A differenza del FR qui è stata rimossa la penalizzazione per un periodo di dati non sufficiente (rappresentata dall'elevazione del denominatore al $\log_{10}(p)$ nella Formula 1), in quanto è ammissibile che alcune stazioni di monitoraggio non vengano installate tutte nello stesso periodo, dovendo rappresentare un fenomeno geograficamente eterogeneo. Questo potrebbe portare ad un periodo in comune molto basso, se una delle stazioni è stata installata di recente; in tal caso si consiglia di escludere queste stazioni se il periodo dei dati raccolti è inferiore al 50% del periodo in comune delle altre stazioni.

Water Balance

Con questo indicatore si vuole valutare il bilancio tra gli eventi di siccità e le ricariche d'acqua di natura meteorica nei pressi della città. Dato che la quantificazione della siccità in sé risulta meno immediata se la si mette a confronto con, ad esempio, le inondazioni per la mancanza di un criterio sufficientemente solido, è necessario ricorrere ad altri metodi. La soluzione individuata prevede l'uso dello Standardized Precipitation Index (McKee et al. 1993), uno dei più usati a livello globale per monitorare l'intensità della siccità, applicato in campi come l'agricoltura e l'idrologia.

L'indice in questione viene calcolato in una data zona per un certo intervallo temporale, utilizzando i dati di precipitazione. Nella procedura di calcolo la serie di dati grezza viene adattata ad una funzione di densità di probabilità, da cui si ricava la probabilità cumulata di intensità di precipitazione per ogni mese; infine l'indice è ottenuto trasformando la curva di probabilità cumulata nella cumulata di una distribuzione normale, con media 0 e varianza 1 (Figura 1).

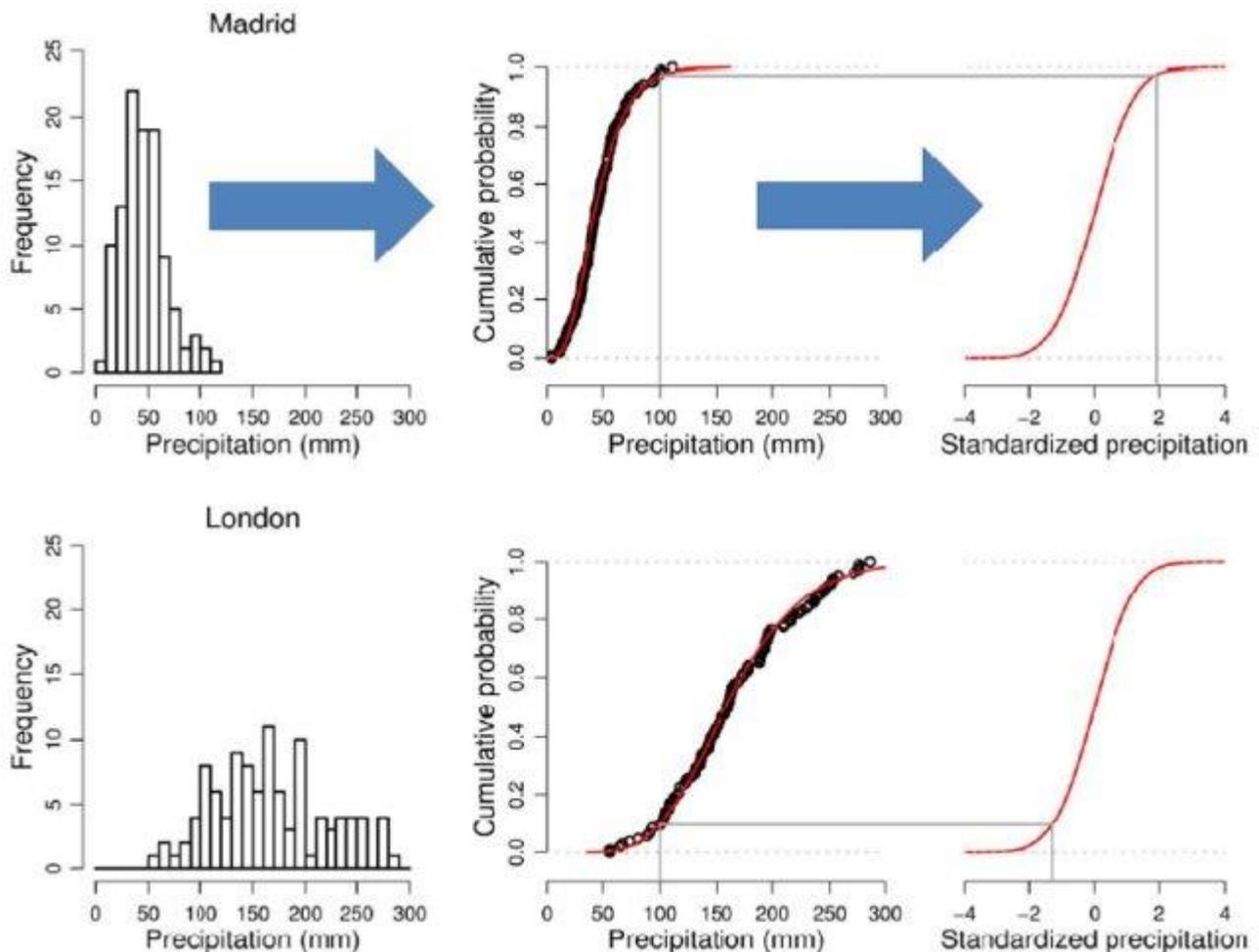


Figura 3. Fasi di calcolo dello SPI (Parry et al., 2011)

L'indice può assumere valori positivi o negativi, a seconda dei livelli rispettivamente alti o bassi di umidità, variando solitamente tra -2 e 2 o -4 e 4. In sostanza, esso va a confrontare le precipitazioni nell'arco temporale considerato con le precipitazioni registrate nelle serie storiche nello stesso arco temporale, pertanto è solitamente consigliato un pool di dati di circa 30-50 anni per una maggiore solidità.

La scala temporale assume una certa importanza non solo per studiare la siccità sul breve o lungo termine ma anche per fornire informazioni di diversa natura; dalla Standardized Precipitation Index User Guide pubblicata dalla World Meteorological Organization (2012) si riscontrano le seguenti informazioni:

- sui 3 mesi per gli impatti immediati (riguardo l'umidità del suolo, il manto nevoso, la portata dei piccoli torrenti...);
- sui 6 mesi per la riduzione delle portate fluviali e delle capacità degli invasi;

- sui 12 mesi per la riduzione delle portate fluviali e delle capacità degli invasi di dimensioni maggiori;
- sui 24 mesi per la riduzione della ricarica degli invasi e per la disponibilità di acqua delle falde.

La scala temporale più adeguata è quella a 24 mesi, o, in alternativa, la scala più lunga disponibile.

Una volta prelevati, i dati si presenteranno come numeri adimensionali per ogni mese di ogni anno. Facendo riferimento all'anno completo più recente, gli indici mensili vanno quindi mediati. Dal risultato, che proviene dalla cumulata di una distribuzione normale nota, ci si riconduce al rispettivo valore di frequenza sulla distribuzione normale associata, e lo si mette a rapporto con la frequenza con cui la media si presenta in tale distribuzione, ossia il valore massimo che tale funzione assumerà. Con questo rapporto si va a valutare quanto la situazione definita dall'SPI si discosti dal caso neutro, il quale descrive uno scenario in cui non si vede né un aumento della siccità locale (collegato a una diminuzione delle precipitazioni) né, viceversa un incremento dell'umidità.

Reserve Water

Questo indicatore dipende dalla riserva totale d'acqua che può rifornire la città in situazioni di emergenza.

Il dato da ricercare è la durata teorica che avrebbe questa riserva se tutta la città attingesse soltanto da essa. Per calcolarla si usa la seguente formula:

$$d = \frac{V}{c * p} \quad (4)$$

Dove:

- V = volume complessivo delle riserve d'acqua (l);
- C = consumo medio pro capite giornaliero di acqua nella città (l/ab*giorno);
- P = popolazione della città (ab)

Il risultato è espresso in giorni. Non sono state prese in considerazione riduzioni ai consumi che normalmente si avrebbero in un periodo di emergenza per non complicare i calcoli e per la difficile stima di tali riduzioni. Per ricavare RW si usa la seguente formula empirica:

$$RW = \left(\frac{100}{\pi/2}\right) \arctan\left(\frac{d}{\log_d(p)}\right) \quad (5)$$

Anche in questo caso l'arcotangente si dimostra utile. RW è direttamente proporzionale a d, pertanto non deve essere calcolato un complementare come in altri casi. Inoltre, d è stato diviso per un coefficiente riduttivo, ovvero il $\log_d(p)$: più la popolazione p sarà alta, più la situazione sarà incerta e difficile da controllare (statisticamente parlando) e quindi RW tenderà ad abbassarsi in maniera cautelativa, ma più la base del logaritmo sarà alta più il logaritmo stesso tenderà a diminuire, aumentando RW. Di fatto, la durata d aumenterà sempre il sotto-indice. Questo stratagemma è stato anche pensato per necessità matematiche, in quanto, senza il coefficiente riduttivo, RW avrebbe potuto assumere valori in una porzione limitata dell'intervallo 0 – 100; l'andamento rimane comunque dettato dall'arcotangente.

Leakage

L'aspetto che si vuole quantificare è l'efficienza del sistema di distribuzione dell'acqua. Solitamente il dato grezzo proviene da report o da banche dati di statistica ed è in forma di percentuale, per tanto basterà calcolare il complementare per avere il risultato. Come è facile immaginare, sarà molto difficile avere dei casi in cui l'indice scenda sotto il 50, in quanto ciò comporterebbe un sistema di pessima qualità, tuttavia non essendoci una soglia oggettiva e sicura a cui riferire la percentuale di perdite lungo la rete non vengono svolte ulteriori considerazioni.

Water Charge

Il rapporto tra il costo medio unitario (€/m^3) ed il reddito medio (€/y^*ab) può essere inteso anche in altri termini, in particolare il suo inverso si misura in m^3/y^*ab e rappresenta la conversione totale del reddito di un abitante in metri cubi d'acqua. Più questo rapporto cresce più la situazione è favorevole, perché si avrà un alto reddito e/o un basso costo unitario. Tuttavia, situazioni troppo favorevoli possono anche portare ad un eccessivo consumo d'acqua, e quindi a sprechi della risorsa. Non essendo semplice valutare quanto esattamente i costi incidano sui consumi, si propone la Formula 6 per calcolare l'indicatore in questione.

$$WC = \left(\frac{100}{\pi/2}\right) \arctan\left(\frac{R}{c^2 * (C + 1)}\right) \quad (6)$$

Dove:

- R = Reddito medio (€/y*ab), ottenuto dividendo il reddito complessivo dichiarato per la popolazione (in modo da comprendere anche quella porzione di abitanti che non dispone di un reddito ma che necessita comunque di acqua)
- c = consumo medio pro capite (m³/y*ab)
- C = costo unitario dell'acqua (€/m³)

L'arcotangente, come in altri casi, viene impiegato unicamente per convertire il rapporto nell'argomento in un numero da 0 a 100; tale rapporto dipende da R e C, e la divisione per il quadrato del consumo fornisce un ulteriore fattore riduttivo. In questo modo WC sarà direttamente dipendente dal reddito ed inversamente dipendente dal costo e dal consumo.

Metered Water

Il dato si presenta già in forma di percentuale.

Reused Wastewater

Il dato si presenta già in forma di percentuale.

Service Continuity

Questo indicatore va calcolato come il rapporto delle ore di interruzione del servizio rispetto alle ore totali di attività sull'intero periodo considerato, per avere un dato in percentuale. Tuttavia, il calcolo può risultare complicato se si considera che una città molto grande avrà una rete acquedottistica estesa e compartimentata, quindi un'eventuale interruzione dei servizi potrebbe interessare solo una porzione del totale. In casi come

questo sarà necessario pesare la durata di ogni evento di interruzione registrato rispetto alla porzione di abitanti interessata, il risultato va poi convertito in percentuale.

Sanitation

Il dato si presenta già in forma di percentuale.

Drinking Water

Il dato si presenta già in forma di percentuale.

Treated Wastewater

Il punteggio equivale alla percentuale di acqua reflua trattata, nell'anno più recente a disposizione.

Water Related Diseases

La World Health Organization ha elencato una lista di malattie e incidenti legati all'acqua, che può essere usata come lista condivisa per le Water Related Diseases:

- Anemia;
- Arsenicosis;
- Ascariasis;
- Campylobacteriosis;
- Cholera;
- Cyanobacterial Toxins;
- Dengue and Dengue Haemorrhagic fever;
- Diarrhoea;
- Drowning;
- Japanese Encephalitis;

- Fluorosis;
- Hepatitis;
- Lead poisoning;
- Leptospirosis;
- Malaria;
- Malnutrition;
- Methaemoglobinemia;
- Onchocerciasis (River blindness);
- Ringworm (Tinea);
- Scabies;
- Schistosomiasis;
- Spinal injury;
- Trachoma;
- Typhoid and Paratyphoid Enteric Fevers.

Come si può notare, vengono elencate anche alcune conseguenze negative sulla salute legate all'acqua diverse dalle malattie. Conoscendo la popolazione ed il numero di casi registrati per ogni malattia si calcola WRD come complementare dell'incidenza media.

Threatened Freshwater Amphibians

In questo caso a definire il valore ultimo sarà lo status delle specie anfibie presenti sul territorio. La presenza di un certo numero di specie a rischio incide sulla qualità sia in termini di danno subito da tali specie sia in termini di una maggiore consapevolezza da parte della città di dover migliorare e/ o mantenere gli habitat interessati per evitare di peggiorare la situazione attuale. Si suppone che la condizione di eventuali specie a rischio possa essere dovuta sia a cause originatesi su scala locale, che quindi potrebbero avere un qualche collegamento diretto con la città, che a cause su scala più larga, di natura antropica o naturale.

Il sito della Red List gestito dalla International Union of Conservation of Nature permette la consultazione di un database con, ad oggi (2020), più di 112000 specie, in costante crescita. Impostando determinati criteri nella ricerca è possibile elencare tutte le specie di anfibio registrate in un'area entro un raggio di 25 km a partire da una posizione su una mappa, ricoprendo una zona di quasi 2000 km², area minima disponibile (un'area più piccola sarebbe più interessata da incertezze sull'effettiva diffusione delle specie).

Ad ogni specie registrata viene attribuito uno status, come di seguito:

- Not Evaluated (NE)
- Data Deficient (DD)
- Least Concern (LC)
- Near Threatened (NT)
- Vulnerable (VU)
- Endangered (EN)
- Critically Endangered (CE)
- Extinct in the Wild (EW)
- Extinct (EX)

L'indicatore TFA è il risultato di una media pesata. Ad ogni status a partire da Extinct fino a Least Concern, in ordine, andrà assegnato un peso crescente da 0 a 1, dopo di che i numeri di specie sotto ogni status verranno mediati tra di loro, ognuno con il proprio peso; dividendo per il totale delle specie elencate e moltiplicando per 100 si ottiene il risultato. Per un approccio più cautelativo i pesi assegnati non seguono un andamento lineare da 0 a 1, bensì parabolico: in questo modo le specie diverse da LC incideranno maggiormente sul risultato finale, mantenendo sempre 0 per le specie estinte (Figura 4).

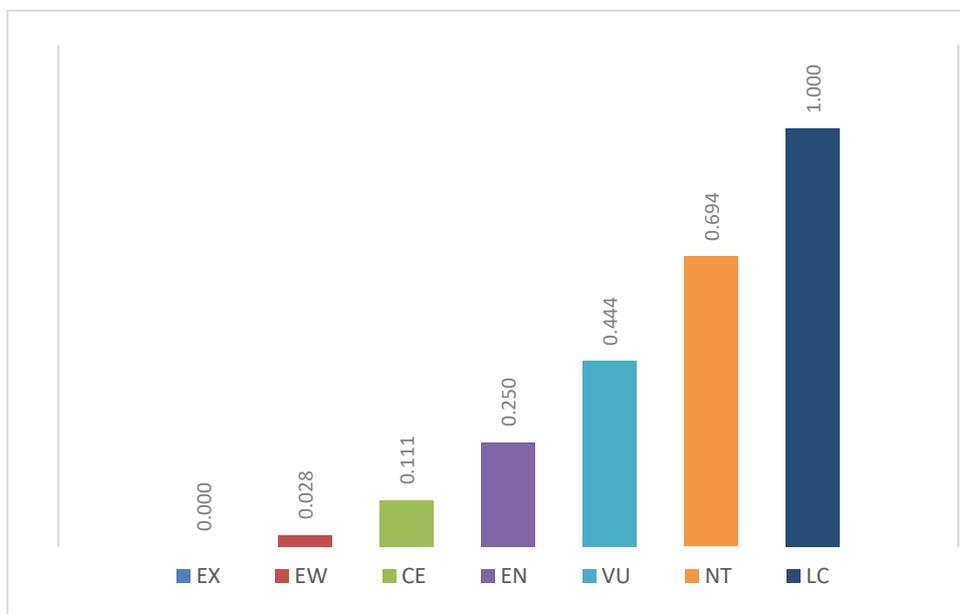


Figura 4. Pesi con progressione parabolica

Le specie catalogate come NE o come DD riceveranno un peso di 0,5.

Raw Water Pollution

Il numero ottenuto come output è composto dallo stato ambientale dei corpi idrici che rientrano nel territorio cittadino. Tra le categorie che vengono valutate ci sono i fiumi, i laghi, le acque sotterranee (divise tra profonde e superficiali) e le zone costiere.

Con il D.Lgs. 152/99 è iniziato un programma di monitoraggio dei corpi idrici significativi, al fine di stabilirne lo stato ambientale, classificarli e studiare eventuali rimedi atti al risanamento. La classificazione di ogni corpo idrico avviene dopo un'adeguata campagna di misure, che porta all'assegnazione di una categoria che, a seconda dei casi, può variare da elevato, buono, sufficiente, scarso o cattivo, o, nei casi più semplici, da buono a non buono.

Ogni corpo idrico significativo all'interno del territorio avrà quindi ricevuto una classificazione su una scala. Per assegnare un punteggio va messo in atto quanto segue:

- Fiumi: per ogni fiume presente nel territorio cittadino viene misurata la portata media e la lunghezza del tratto entro i confini; i due dati vengono quindi moltiplicati per ricavare un numero che definisca la presenza del fiume sul territorio, e dividendo ognuno di questi numeri per il loro totale si avrà la presenza relativa. Quest'ultimo valore verrà usato come peso per lo stato complessivo di ogni fiume, a cui verrà assegnato un valore su una scala da 0 a 100. La media pesata di ogni fiume restituisce il RWP per i fiumi;
- Laghi: il procedimento è simile, in quanto per ogni lago viene calcolata la presenza sul territorio come prodotto tra la superficie e il volume totale; dopo aver calcolato la presenza relativa il RWP per i laghi sarà, anche qui, la media pesata dei punteggi sulla scala di valori per lo stato complessivo di ogni lago;
- Falde: dopo aver misurato l'estensione dell'area di ogni corpo idrico sotterraneo che rientra nei confini, ne si calcola la presenza relativa dividendo per la superficie totale del territorio. Questo sarà il peso da applicare al valore che rappresenta lo stato chimico della falda (a differenza dei corpi idrici superficiali le falde non hanno uno stato complessivo). Sia per le falde superficiali che profonde va quindi calcolata una media pesata, e mediando i due risultati si ottiene infine il RWP per le acque sotterranee.
- Zone costiere: lo stato di queste aree non è facile da determinare, data l'alta complessità che caratterizza questi ambienti; una possibile soluzione prevede l'uso dell'indice trofico che dipende da fattori come la trasparenza delle acque, il colore e

la saturazione dell'ossigeno disciolto. Ogni tratto costiero classificato diversamente dagli altri possiederà un'importanza direttamente dipendente dalla sua lunghezza, relativa rispetto al totale; da qui si calcola una media pesata per il RWP.

I tipi di corpi idrici non presenti nel territorio non vengono considerati, evitando così di assegnare un valore pieno o nullo ad una categoria mancante. Il RWP complessivo è quindi dato dalla media di tutti gli RWP che sono stati effettivamente calcolati.

Caso Studio: Città di Torino

Dopo la descrizione, il metodo viene applicato alla città di Torino per una dimostrazione pratica. Gli indicatori vengono riferiti, ove possibile, al territorio interno ai confini, che, nel caso del capoluogo piemontese, misura 130,01 km². Dove c'era la possibilità è stata eseguita un'analisi riferita all'anno precedente, per confrontare le variazioni di performance della città con il variare del tempo.

Water Stress

Per ottenere i dati di portata media annua prelevabile e di portata massima istantanea è stato consultato Catasto di derivazioni di Pozzi e Sorgenti, dal sito della Regione Piemonte; con questo strumento è possibile visualizzare tutti i punti di derivazione autorizzati su una mappa. Ai fini di questa analisi non sono stati considerati i prelievi di risorsa dalla rete dell'acquedotto in quanto non rientrano nei prelievi diretti di risorsa grezza, ma riguardano acqua già estratta, trattata e messa a disposizione dell'utenza.

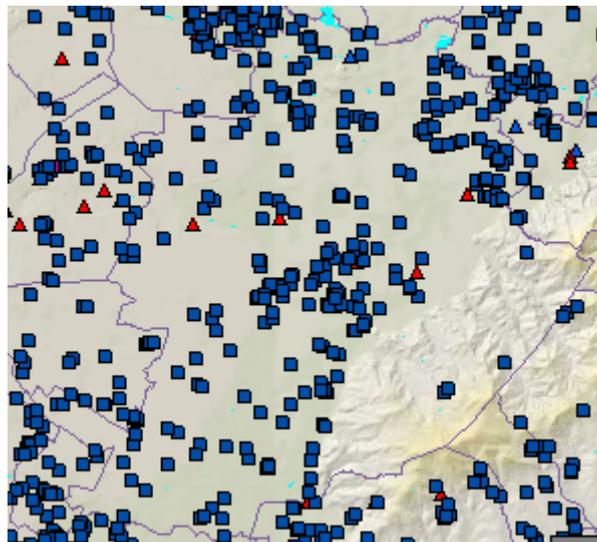


Figura 5. Punti di derivazione in Torino (dal Catasto di derivazioni pozzi e sorgenti)

Non essendo disponibile un database di ogni derivazione sul territorio cittadino i dati sono stati estratti direttamente dalla mappa, riportata in Figura 5, con lo strumento “Interroga

Layer". Per ogni punto sono stati estratti i limiti di portata media annua e di portata massima istantanea, i quali sono poi stati messi rispettivamente al numeratore ed al denominatore di un rapporto: in questo caso si va a confrontare quello che l'autorità competente concede effettivamente all'ente richiedente con quello che rappresenta la situazione limite nel caso in cui la portata massima istantanea fosse invece la portata media annua. Quindi, maggiore è questo rapporto, maggiore è la quantità di risorsa che l'autorità competente permette di prelevare; per tanto è necessario calcolare il complementare di tale rapporto. La media di queste frazioni darà il sotto-indice ricercato.

Tuttavia, il catasto non riporta la totalità dei dati necessari: per circa il 50% dei punti che rientrano nei pozzi non è presente la portata media. Si è scelto, allora, di procedere tramite un'estrapolazione dei dati mancanti, supponendo che in ognuno di essi il rapporto tra le due portate fosse pari alla media dei rapporti ottenuti nei punti con entrambi i dati. Di fatto, in questo modo, i pozzi senza portata media derivabile non hanno influito sul calcolo finale.

Svolti i calcoli risulta che il WS per i corsi d'acqua superficiali è di 34,0 mentre per le falde è di 79,6 con 5 punti di prelievo e un totale di 126041 l/s per i primi e 236 punti di prelievo e 1087 l/s per le seconde. Dalla media pesata si ricava un WS complessivo di **66,4**.

Green Space

Stando a quanto riportato nei database di ISTAT, nel 2018 l'estensione delle aree verdi nel territorio di Torino (urbane + protette, al netto delle sovrapposizioni) raggiunge i 28,00 km², che rapportati ai 130,01 km² di estensione porta ad una percentuale di 21,54%, per cui il punteggio da assegnare a GS è **21,5**. Rispetto agli altri capoluoghi Torino si posiziona in quattordicesima posizione, con Venezia (65,5), Cagliari (61,6) e L'Aquila (50,5) rispettivamente in prima, seconda e terza posizione. La presenza di aree verdi protette influisce molto sul risultato finale: se si guarda solo alla componente delle aree verdi urbane Venezia raggiunge solo il 2,65% mentre Torino il 15,26%, posizionandosi terza dietro a Trieste (16,04%) e Trento (30,40%).

Nel 2017 Torino ha raggiunto un totale di 27,78 km² di verde pubblico (aree urbane + aree protette al netto delle sovrapposizioni), che l'avrebbero portata ad un GS di 21,4. Questo denota un miglioramento, sebbene poco evidente.

Flood Risk

Una delle modifiche più importanti apportate alla lista di indicatori fornita dalla pubblicazione di ARCADIS riguarda i Water-Related Disaster Risks ed il Flood Risk. Mentre il primo considera il totale di eventi disastrosi differenti che interessano la città, il secondo si interessa unicamente alle inondazioni, concentrandosi su un periodo specifico (1985-2011). In un primo tentativo si è provato a esprimere questi due indicatori esattamente in questa maniera:

- per W-RDR prendendo come dato ultimo il totale degli eventi considerati disastrosi, ovvero quegli specifici eventi che superavano una certa soglia nella loro categoria e che di conseguenza potevano essere accorpati nonostante le diverse provenienze;
- per il FR contando questo tipo di eventi nel periodo in questione.

Per varie ragioni questi metodi sono stati scartati.

Il W-RDR considera nello stesso dato le inondazioni, le tempeste, la siccità e le colate detritiche: mentre le prime due possono essere espressi in termini di livello idrometrico e di mm/h di precipitazione, è più difficile quantificare un evento di siccità, o porre un limite che separi le colate detritiche, caratterizzate anche da forte eterogeneità nei detriti, dalle inondazioni; inoltre non è specificato a quale periodo devono fare riferimento i dati.

Il Flood Risk è stato inizialmente calcolato sulla base delle inondazioni registrate nel periodo in questione, ma per mancanza di dati non è stato possibile impiegare un criterio di natura numerica. La Regione Piemonte ha raccolto sul proprio sito web tutti i report di eventi alluvionali che ne hanno interessato il territorio, per tanto gli eventi di inondazione si sarebbero potuti estrarre tramite la consultazione bibliografica; tuttavia questo non costituisce un criterio oggettivo, perché non tutti i report sono forniti di livelli idrometrici, quindi ci si dovrebbe basare sull'interpretazione del testo.

Da queste considerazioni si può evincere il perché delle modifiche.

I fiumi considerati in questa analisi sono riportati in Tabella 3.

Tabella 3. Fiumi analizzati

	Inizio periodo	Fine periodo	Periodo (anni)	lunghezza tratto (km)	portata media nel periodo (m ³ /s)	Parametro di presenza sul territorio	Livello idrometrico di pericolo (m)
Po	1/1/1995	31/12/2018	24,02	12,8	78,47	1004,416	4,7
Dora Riparia	1/1/2002	31/12/2018	17,01	11,9	23,91	284,529	4,1
Stura di Lanzo	1/1/2002	31/12/2018	17,01	7,32	22,61	165,5052	3,2
Sangone	1/1/2016	31/12/2018	3,00	2,54	4,09	10,3886	2,2

Dalle serie di dati risulta che, nei periodi considerati, ci siano stati solo due superamenti, avvenuti entrambi lungo il Po, in corrispondenza di due eventi di particolare intensità: il 16/10/2000 ed il 25/11/2016. Applicando la Formula 1 il FR per il Po è di 98,4, data la presenza di soli due eventi nell'arco di 24 anni. Assegnando 100 a tutti gli altri fiumi, lo SR complessivo è di **98,9**.

Eliminando dalle serie di dati l'ultimo anno registrato per ogni fiume il numero di superamenti non cambia, ma va a ridursi il periodo considerato. In questo modo il sotto-indice, se fosse stato calcolato l'anno precedente, sarebbe stato leggermente più basso, arrivando a 98,6.

Storm Risk

Le stazioni in Torino usate nell'analisi sono elencate in Tabella 4; la loro posizione è riportata in Figura 6.

Tabella 4. Stazioni di registrazione dell'intensità di pioggia

Stazione	Sigla	Inizio raccolta dati	Fine raccolta dati	UTM X ED50 (m)	UTM Y ED50 (m)
Torino Giardini Reali	GR	05/08/2004	-	397112	4991946
Torino Reiss Romoli	RR	17/12/2003	-	395535	4996506
Torino Vallere	V	17/05/2001	-	395596	4985890
Torino Via della Consolata	VdC	18/12/2003	-	396054	4992433

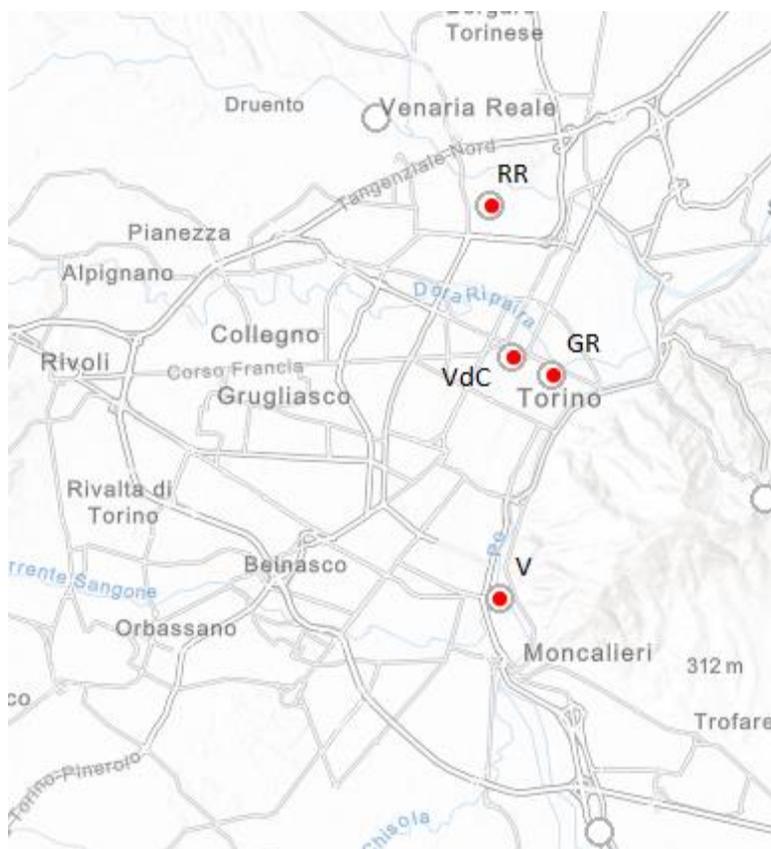


Figura 6. Posizione nel territorio delle quattro stazioni, in rosso (sito di provenienza?).

Il periodo di dati in comune alle stazioni va dalla data più recente riportata in Tabella 4 alla data più recente di disponibilità dei dati al momento dell’elaborazione, il 30/06/2019. Sono presenti anche altre due stazioni in grado di misurare l’intensità di pioggia sulle 24 ore, Torino Buon Pastore e Torino Italgas, che però sono state escluse in quanto non più in attività dal 03/08/2004 e dal 22/03/2001 rispettivamente, non avendo dunque un periodo in comune con le altre stazioni.

Tramite la posizione delle stazioni viene creata la seguente matrice:

Tabella 5. Matrice delle distanze

	GR	RR	V	VdC
VdC	1164,70	4105,93	6559,01	0
V	6242,87	10616,18	0	
RR	4824,99	0		
GR	0			

Da cui si ottiene una distanza media di 5585,61 m. Dai dati utilizzati risultano 5 eventi di superamento, di cui uno verificatosi in due stazioni, il 14/09/2006; le due stazioni in questione sono Torino Vallere e Torino Via della Consolata quindi per quello specifico giorno la matrice va modificata come in Tabella 6:

Tabella 6. Matrice delle distanze modificata

	V	VdC
VdC	6559,01	0
V	0	

Per il giorno in questione la Formula 2 assume questa forma:

$$SR'_k = 2^{\left(\frac{(6559,01 + 0 + 0)}{2 * 5585,61} \right)}$$

Dando un SR'_k di 1,50226; in tutti gli altri casi il parametro assume 1, essendoci un solo superamento. Con un periodo di 14,91 anni ed un SR'_{tot} di 5,50226, si assegna a SR (con la Formula 3) un valore di **77,5**.

La stessa analisi effettuata per il periodo 2004-2018 non comporta variazioni nei superamenti, quindi va solo a ridursi il periodo, rispetto al quale SR diminuisce a 76,0.

Water Balance

I valori assunti dallo Standardized Precipitation Index per Torino sono stati prelevati dal sito di ISPRA. Tuttavia, i dati non sono raccolti in un database che riporti l'SPI per un luogo specifico ma, bensì, in una cartina dell'Italia, su cui è possibile visualizzare delle linee iso-SPI per un certo mese riferito ad un arco temporale caratteristico dell'indice (3 mesi, 6 mesi, 12 mesi e 24 mesi) come riportato in Figura 7.

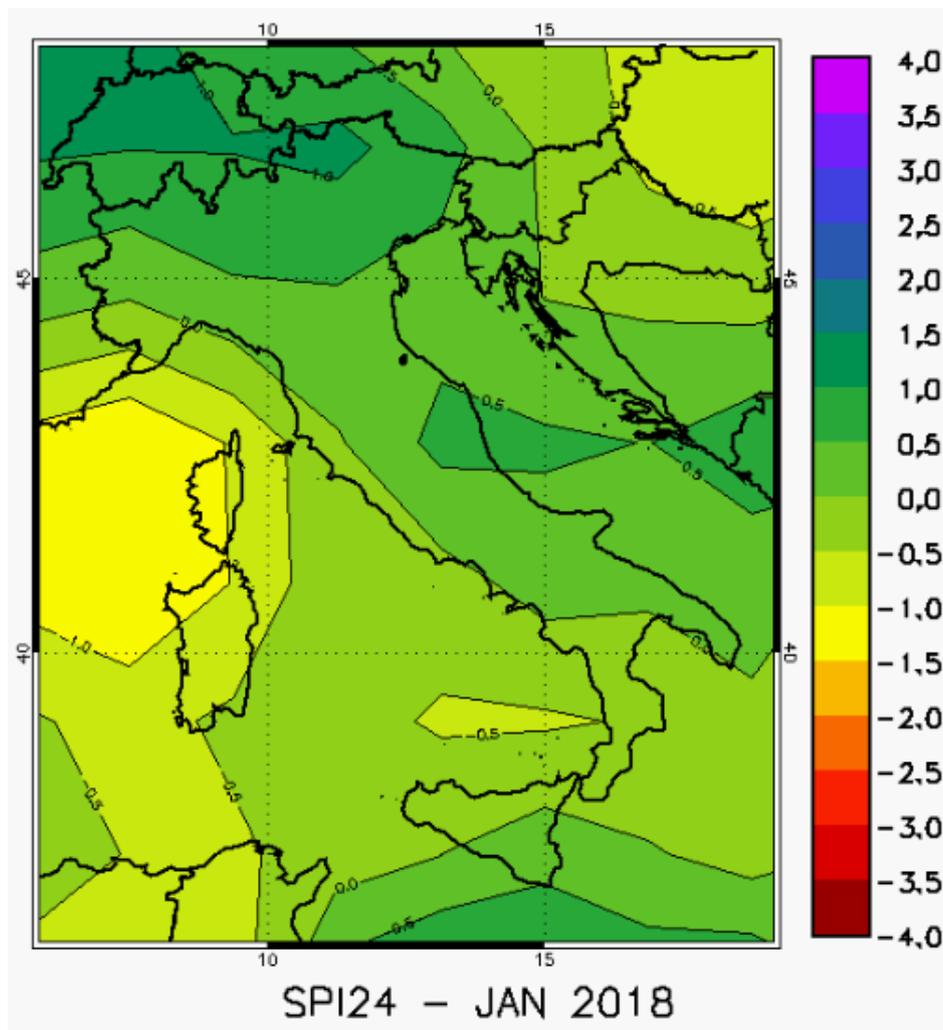


Figura 7. Mappa dell'indice SPI a 24 mesi per Gennaio 2018

Per ottenere i dati sono state consultate queste mappe. Qualora la posizione di Torino fosse a distanza media tra due linee il valore assegnato era a metà tra i due possibili, altrimenti è stato assegnato il valore alla linea più vicina. I valori assegnati ai 4 intervalli di tempo utilizzati da ISPRA sono riportati in Tabella 7.

Tabella 7. Indici SPI sui quattro intervalli di tempo per Torino nel 2018

Mese	3 mesi	6 mesi	12 mesi	24 mesi
gennaio	0,5	-0,25	0	0,25
febbraio	0,75	-0,5	-0,25	0
marzo	0,75	0,25	0	0,25
aprile	0,5	0,75	0,25	0,5
maggio	1,5	1,75	0,75	0,75
giugno	1,25	1,25	0,75	0,75
luglio	1,75	1,75	1,25	0,75
agosto	1,75	2,25	1,75	0,75
settembre	2	2,25	2	0,75
ottobre	2,25	2,25	2	1,25
novembre	1	1,25	2,25	1,25
dicembre	0,25	1,75	2	1,25
MEDIA	1,188	1,229	1,063	0,708

Come detto in precedenza l'indice medio da usare è quello relativo all'ultima colonna, evidenziato in grassetto in Tabella 7. Le altre medie sono state riportate per dare un'idea di quali valori possono assumere le diverse scale temporali e per un confronto sul calcolo finale. La relativa distribuzione normale è riportata in Figura 8.

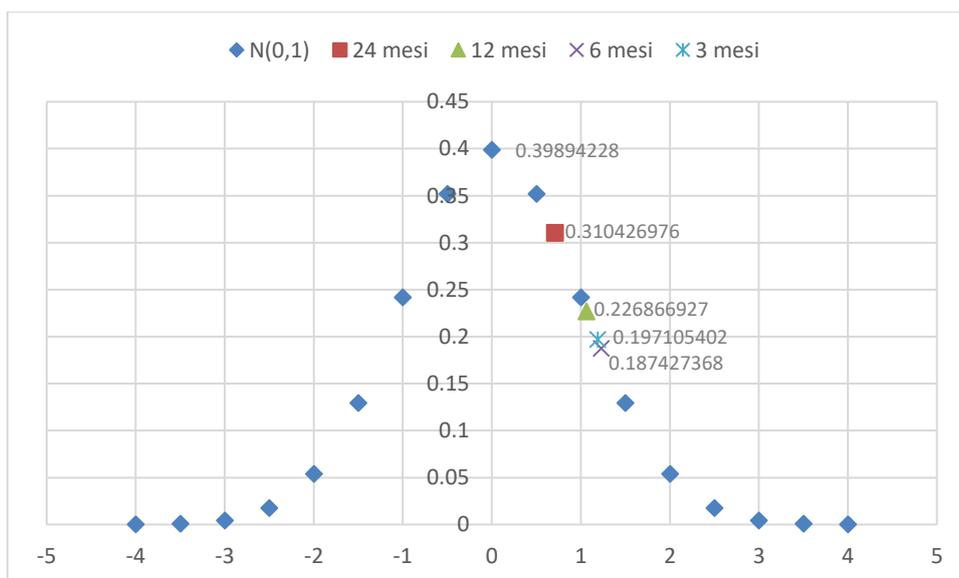


Figura 8. Posizione dei quattro indici medi nella distribuzione

Mettendo a rapporto la frequenza di un dato indice con il valore corrispondente alla media si ha l'indicatore WB. Per i quattro periodi esso assume i seguenti valori:

- 24 mesi: **77,8**
- 12 mesi: 56,9
- 6 mesi: 47,0
- 3 mesi: 49,4

Dai risultati si evince come l'SPI a 24 mesi sia quello più favorevole, in quanto si basa su un maggiore intervallo di tempo e di conseguenza tende ad appiattire maggiormente le anomalie. Questo comportamento è accettabile, se si considera che esso andrà ad assumere valori bassi dove ci sia un trend di cambiamento sufficientemente significativo.

Il 2017 per Torino è stato un anno mediamente meno umido rispetto al 2018, come riportato in Tabella 8.

Tabella 8. Indici SPI sui quattro intervalli di tempo per Torino nel 2017

Mese	3 mesi	6 mesi	12 mesi	24 mesi
gennaio	-0,75	-0,25	0	0,5
febbraio	-0,75	-0,25	0,25	0,25
marzo	-0,25	-0,5	0,25	0
aprile	-0,5	-0,75	0,5	0
maggio	-0,5	-1	0,5	0,25
giugno	0,25	0	0,25	0,25
luglio	0,5	0,25	0	0,25
agosto	0,5	0	0,25	0,25
settembre	-0,25	0	-0,25	0
ottobre	-0,25	0	-0,25	0
novembre	-1,25	-0,25	-0,5	-0,25
dicembre	-0,5	-0,5	-0,5	0,25
MEDIA	-0,313	-0,271	0,042	0,146
WB	95,2	96,4	99,9	98,9

Reserve Water

La città di Torino dispone di un bacino di riserva, il bacino della Loggia. La riserva d'acqua in questione è da impiegare per il comune di Torino in casi come siccità, inquinamento eccessivo del fiume o altri eventi eccezionali.

Per capire che valore assegnare a RW è necessario calcolare i giorni che il bacino impiegherebbe per svuotarsi, supponendo un consumo giornaliero pro capite medio invariato dalla situazione ordinaria. Per calcolare la durata teorica delle riserve d'acqua va usata la Formula 4, con i seguenti dati dal 2018:

- $V = 2 \cdot 10^9$ l
- $c = 194$ l/ab*g
- $p = 886837$ abitanti

La durata in questione è di 11,62 giorni. Il fattore riduttivo, dovuto alla popolazione di quasi novecentomila persone, che appare al denominatore della Formula 5 è di 5,32. Il RW che si ottiene è di **71,5**.

Con l'ampliamento delle riserve a 7 milioni di m^3 la durata subirà un aumento considerevole: supponendo un consumo unitario invariato si passerebbe a 40,69 giorni e ad un RW di 94,2.

Leakage

Stando al Bilancio di Sostenibilità 2018 pubblicato da SMAT, le perdite totali sulla rete sono del 25%. Calcolando il complementare si ottiene un L di **75,0**.

Negli anni precedenti le perdite sono andate generalmente in salita, come si può vedere dalla Figura 9.

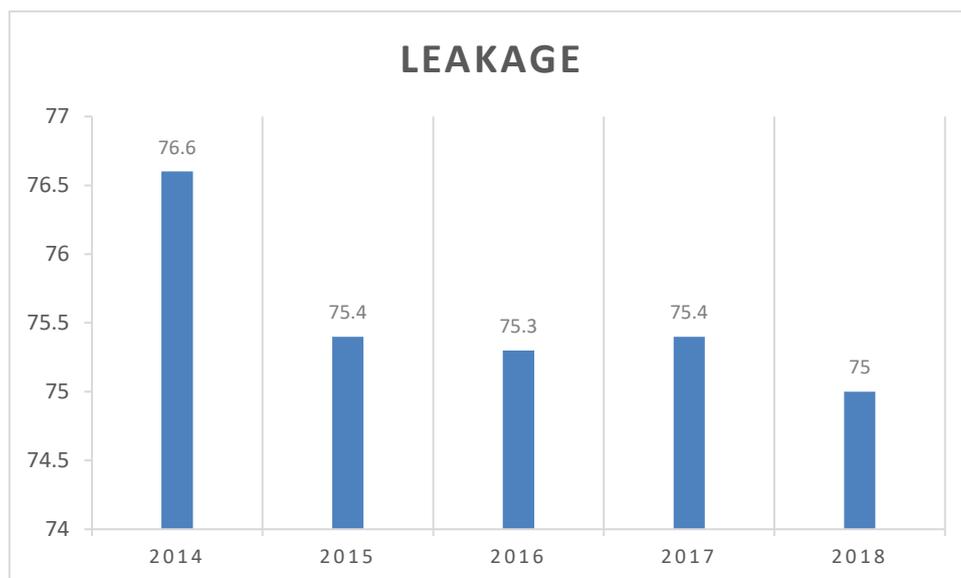


Figura 9. Valori assunti dal sotto-indice in questione nei cinque anni precedenti al 2019

Water Charges

Per ottenere i dati necessari sono state consultate due fonti: i dati di reddito, popolazione e consumo medio pro-capite provengono da ISTAT, mentre per il costo è stato usato il sito di IWA Statistics & Economics. In particolare, quest'ultima fonte fornisce i dati di costo per quasi 200 città nel mondo, ad oggi fino al 2017; tra queste città sono presenti, oltre a Torino, anche altre città italiane: Bologna, Milano, Napoli e Roma. A titolo di confronto l'analisi è stata svolta anche su queste città.

La Tabella 9 riporta i dati per tutte e cinque le città per il 2017. I dati del consumo medio pro-capite non erano disponibili per il 2017, ma lo erano per il 2016 ed il 2018, pertanto il dato per l'anno in questione è stato ottenuto tramite una media tra l'anno precedente e l'anno successivo.

Tabella 9. Dati per le cinque città poste sotto analisi

Dati per il 2017	Bologna	Milano	Napoli	Roma	Torino
Total Charge (US\$/200m ³)	559,52	186,46	347,16	401,51	470,33
€/US\$ (2017)	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
C (€/200m ³)	466,54	155,47	289,47	334,79	392,17
C (€/m³)	2,33	0,78	1,45	1,67	1,96
Abitanti	389.261	1.366.180	966.144	2.872.800	882.523
Reddito medio (€/y*ab)	27.690,11	33.869,89	20.798,36	26.860,84	23.094,93
R (€/y*ab)	21.009,32	24.384,72	10.376,51	17.847,62	16.182,30
c 2016 (l/d*ab)	153	206	147	183	197
c 2018 (l/d*ab)	153	273	151	178	194
c (l/d*ab)	153	239,5	149	180,5	195,5
c (m³/y*ab)	55,85	87,42	54,39	65,88	71,36
WC	70,8	67,7	61,2	63,3	52,3

In Tabella 9 sono evidenziati verde i parametri per il calcolo di WC. Rispetto alle altre città Torino ha ottenuto il punteggio più basso perché si ritrova ad avere uno dei redditi medi più bassi e contemporaneamente un consumo pro-capite relativamente alto.

Metered Water

Purtroppo, non è stato trovato un dato significativo in letteratura.

Reused Wastewater

Il dato più significativo proviene da FAO-Acquastat, secondo il quale in Italia, nel 2004, ci sia stato un uso diretto dell'acqua reflua municipale di $4,5 \cdot 10^7$ m³. Il sito fornisce anche la quantità di acqua reflua complessivamente prodotta ma solo per l'anno 2007, per tanto non è possibile calcolare l'indicatore come richiesto.

Service Continuity

Non potendo disporre dei dati richiesti, è stata pensata una soluzione alternativa. Il Bilancio di Sostenibilità di SMAT del 2018 riporta un sondaggio di gradimento del servizio (Figura 10); tra gli aspetti da valutare c'è anche la continuità dell'erogazione dell'acqua.

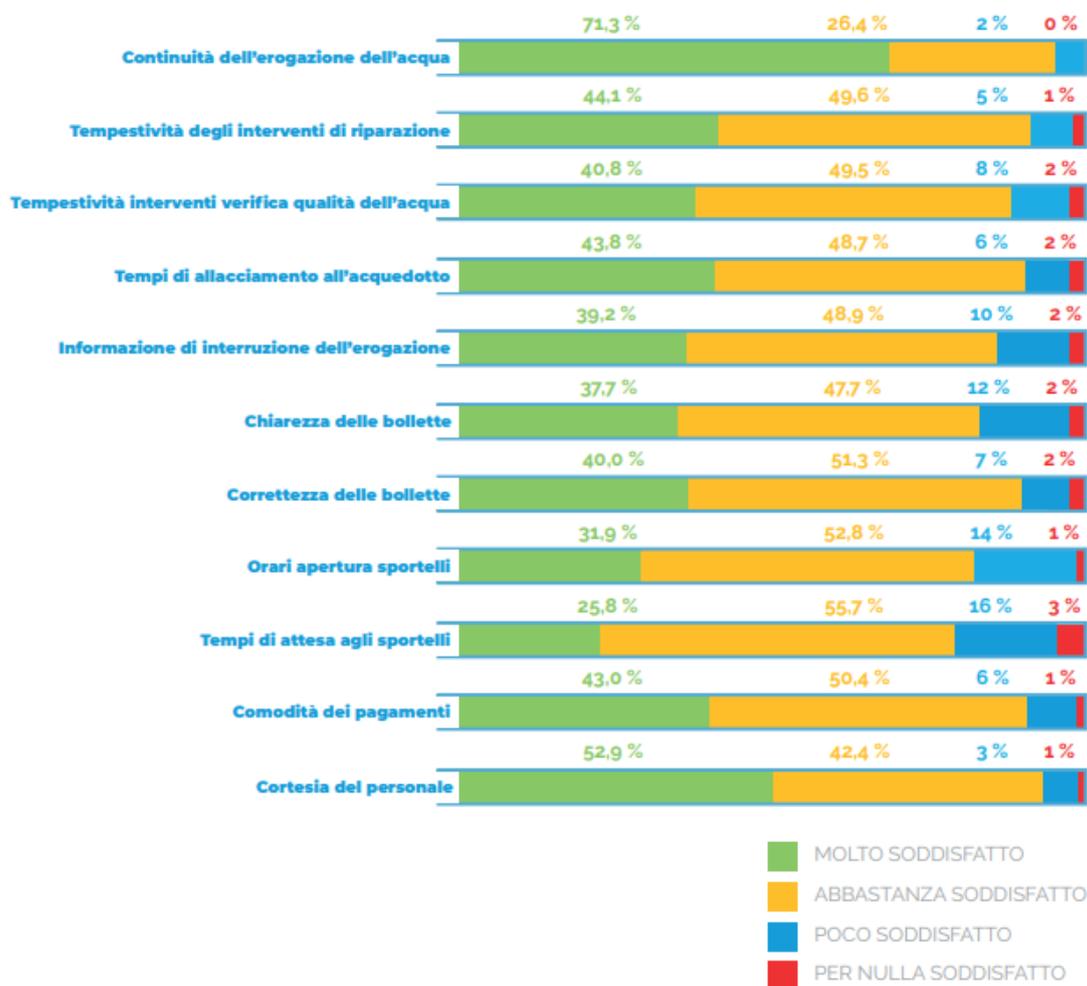


Figura 10. Risultati del sondaggio presso gli utenti della rete acquedottistica (dal Bilancio di Sostenibilità 2018, SMAT)

All'interno di tale sondaggio i partecipanti hanno potuto esprimere il loro parere su alcuni aspetti, tra cui appunto la continuità dell'erogazione dell'acqua, attraverso 4 indici di gradimento:

- Molto soddisfatto
- Abbastanza Soddisfatto

- Poco soddisfatto
- Per nulla soddisfatto

Sull'aspetto da valutare il sondaggio riporta 71,3% per Molto soddisfatto, 26,4% per Abbastanza soddisfatto, 2% per Poco soddisfatto e 0% Per nulla soddisfatto. Il SC è stato calcolato come media pesata delle 4 categorie di gradimento (assegnando a ciascuna un numero tra 0 e 100 ad intervalli regolari di 33.3) rispetto a tali percentuali, ottenendo un valore di **89,7**.

Sanitation

Purtroppo, in letteratura non è stato trovato un dato sufficientemente specifico, se non per l'Italia, che nel 2017 (anno più recente, World Health Organization) ha registrato una percentuale della popolazione con accesso a sanità gestita in sicurezza del 96%, percentuale che si è mantenuta stabile negli ultimi anni. Al sotto-indice viene quindi assegnato **96,0**. Se si guarda alla percentuale di popolazione che dispone almeno dei servizi basilari, si arriva al 99%.

Drinking Water

Anche in questo caso non è stato possibile andare più nello specifico dell'Italia; secondo World Health Organization la percentuale di popolazione con accesso ad acqua potabile gestita in sicurezza nel 2017, come anche nel 2016, è del 95%, mentre prima del 2016 non superava il 94%. Il sotto-indice assume quindi il valore di **95,0**. La popolazione con accesso a fornitura di acqua potabile basilare è il 99%.

Treated Wastewater

Dal database di ISPRA risulta che in Torino, nel 2016 (anno più recente disponibile) sia stato prodotto un quantitativo di acqua reflua per un totale di 3057584 abitanti equivalenti e che il totale depurato sia 2836161 abitanti equivalenti. La porzione di acqua reflua che ha subito un trattamento è quindi pari al 92,8%, di conseguenza l'indicatore ottiene un valore di **92,8**.

Water Related Diseases

Non è stato trovato un database completo in letteratura che fornisca i dati di incidenza per tutte le malattie elencate. Tuttavia, presso il sito del SeREMI (Servizio di riferimento Regionale di Epidemiologia per la sorveglianza, la prevenzione e il controllo delle Malattie Infettive) è reperibile un report risalente al 2016 che elenca il numero di casi notificati dalle ASL della regione. Facendo riferimento ad ASL TO₁₋₂, ovvero le ASL della città di Torino, è possibile ottenere il dato ricercato per un numero limitato di malattie:

Tabella 10. Casi e incidenze di malattie infettive legate all'acqua per Torino 2016

	Casi Torino 2016	Incidenza pro-capite
Affogamento	10	1,1276E-05
Campylobacter	37	4,1721E-05
Dengue	8	9,0208E-06
Diarrea	6	6,7656E-06
Epatite (A+B+NANB)	24	2,7062E-05
Febbre tifoide	0	0,0000E+00
Leptosirosi	2	2,2552E-06
Malaria	42	4,7359E-05
Scabbia	144	1,6237E-04
Tinea, Dermatofitosi	3	3,3828E-06
Totale	276	3,1122E-05

I dati per l'affogamento provengono da ISTAT. L'incidenza è stata ottenuta con la popolazione registrata in Torino nel 2016, 886.837 abitanti; il sotto-indice che ne deriverebbe è quasi prossimo al 100, data la bassa incidenza registrata.

Threatened Freshwater Amphibian Species

Non è stato possibile riferire l'analisi al solo territorio di Torino, in quanto l'area sarebbe troppo piccola e porterebbe ad incertezze nei risultati. Dalla ricerca svolta sul sito della Red List risultano 14 specie presenti nei pressi di Torino.

Tabella 11. Specie classificate nella Red List nei pressi di Torino

Pelophylax ridibundus/kurtmuelleri	LC
Salamandra salamandra	LC
Pelophylax lessonae	LC
Rana dalmatina	LC
Lithobates catesbeianus	LC
Rana latastei	VU
Lissotriton vulgaris	LC
Triturus carnifex	LC
Pelobates fuscus insubricus	LC
Bufo bufo	LC
Mesotriton alpestris	LC
Rana temporaria	LC
Hyla intermedia	LC
Bufo balearicus	LC

Di tutte le specie elencate in Tabella 11 solo una non è considerata LC, ma VU. Questo porta ad un TFA di **94,3**.

Raw Water Pollution

Arpa Piemonte è l'ente che si prende cura della rete di monitoraggio dello stato ambientale dei corpi idrici nella regione. I dati raccolti sono pubblicati sul sito Monitoraggio della qualità delle acque in Piemonte (ad oggi aggiornato al 2017), da cui è possibile ottenere lo stato ambientale di fiumi, laghi e falde acquifere superficiali e profonde.

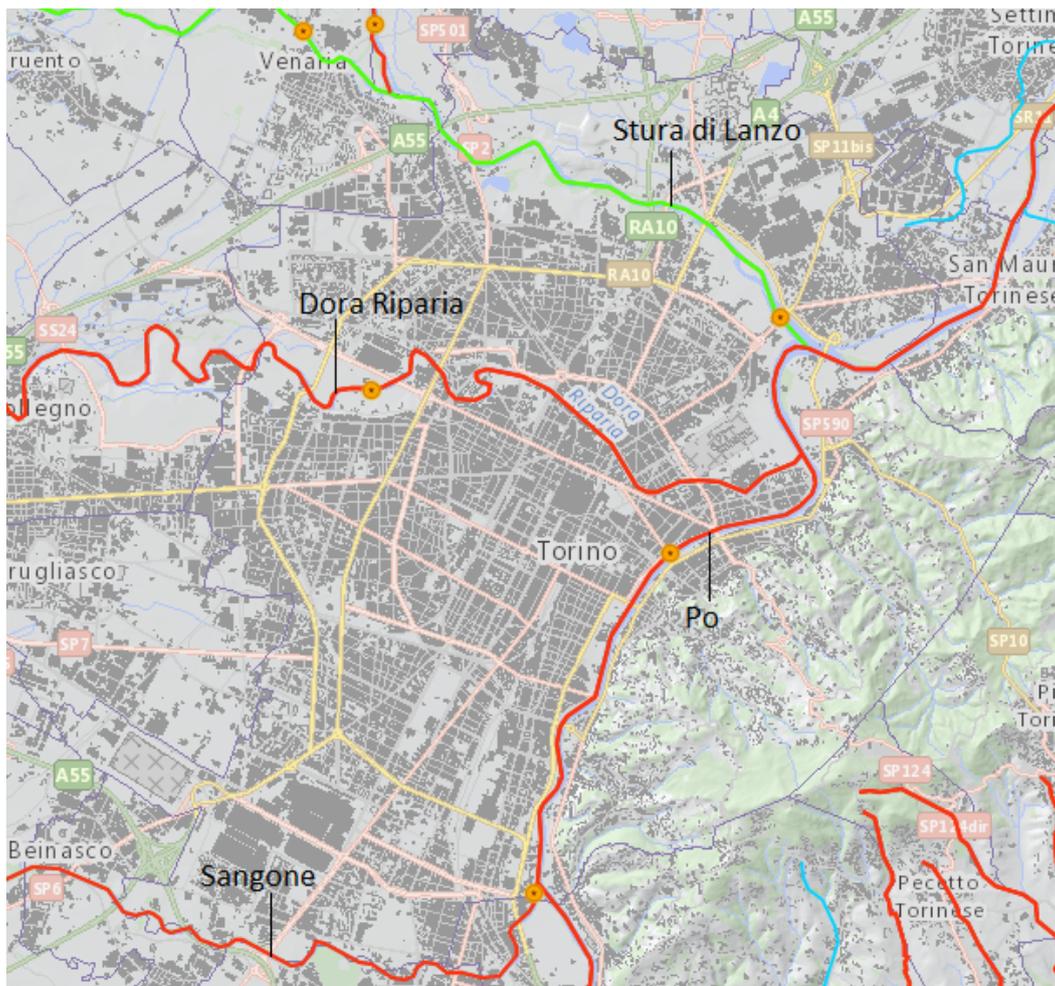


Figura 11. Stato complessivo dei fiumi, Monitoraggio della qualità delle acque in Piemonte, Arpa Piemonte

Lo stato complessivo dei fiumi è definito dai risultati che i rispettivi corsi d'acqua ottengono nella valutazione dello stato ecologico e dello stato chimico. In Figura 8 i tratti rossi stanno ad indicare uno stato complessivo Non Buono, mentre i tratti verdi rappresentano uno stato Buono (i tratti azzurri sono corsi d'acqua senza ancora una valutazione). Per i parametri di presenza dei vari corsi d'acqua si rimanda alla Tabella 3. Assegnando a uno stato Buono il valore 100 e ad uno stato Non Buono il valore 0, lo stato complessivo dei fiumi in Torino, pesato dalla loro presenza, restituisce un RWP di 11,6.

Non sono presenti laghi significativi nel territorio della città di Torino.

Gli acquiferi nel sottosuolo di Torino sono 3, di cui due superficiali (GWB-S3a e GWB-S3b) e uno profondo (GWB-P2), come riportato in Figura 12a e 12b (per una migliore visualizzazione dei corpi idrici le immagini provengono dal sito della Rete di Monitoraggio delle Acque della Regione Piemonte).

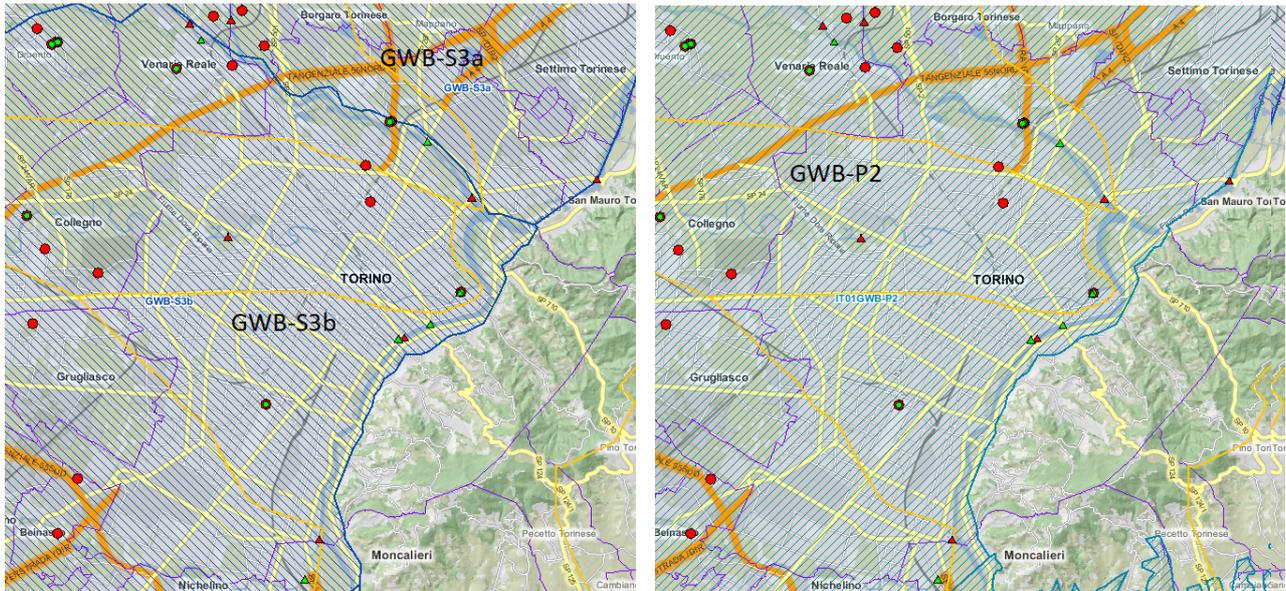


Figura 12. Falde superficiali (a) e profonde (b) di Torino

Come si può vedere, questi corpi occupano gran parte del territorio. Le estensioni di ogni corpo idrico entro i confini sono elencate di seguito:

- GWB-S3a: 16,2 km², corrispondenti al 12,5%;
- GWB-S3b: 89,7 km², corrispondenti al 69%;
- GWB-SP2: 105,9 km², corrispondenti al 81,5%, che in questo caso coincide con la somma delle aree dei due acquiferi superficiali.

Anche in questo caso lo stato delle falde viene espresso con un colore verde per il Buono e rosso per il Non Buono, a cui andranno assegnati rispettivamente 100 e 0 nei punteggi. Dalle Figure 13a e 13b, sempre provenienti dal sito del Monitoraggio della qualità delle acque in Piemonte si evince che lo stato delle falde superficiali sia Non Buono, mentre la falda profonda ha uno stato Buono. Quindi, sebbene SWB-SP2 sia molto esteso, la media con il punteggio nullo ottenuto da GWB-S3a e GWB-S2b di fatto lo dimezza, portando il RWP delle falde a 40,7.

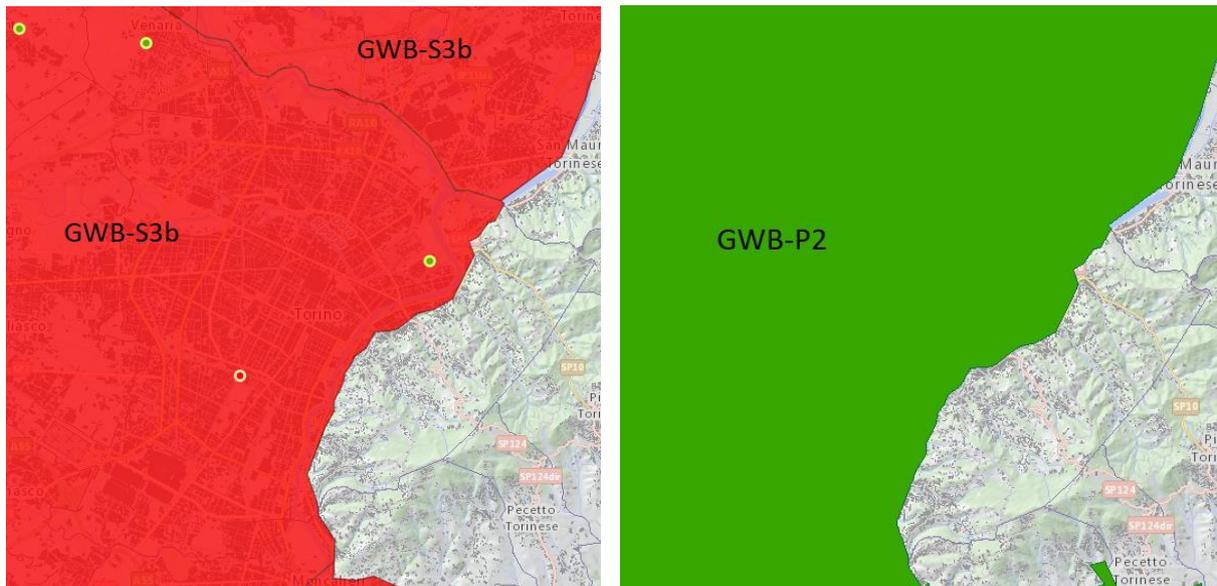


Figura 13. Stato delle falde superficiali (a) e profonde (b) di Torino

Non ci sono laghi significativi o zone costiere da inserire nella valutazione, quindi la media di ogni RWP ottenuto è di **26,2**.

Questo risultato è sicuramente basso, ma è certo che ci siano stati dei miglioramenti se si considera che la falda profonda, nel 2016, era in stato chimico Non Buono; se non fosse cambiato nulla nel 2017 il punteggio totale sarebbe stato di 5,8.

Risultati

Tabella 12. Indicatori

Resiliency	Water Stress (WS)	66,4	67,1
	Green Space	21,5	
	Flood Risk (FR)	98,9	
	Storm Risk (SR)	76,0	
	Water Balance (WB)	77,8	
	Reserve Water (RW)	71,5	
Efficiency	Leakage (L)	75,0	81,6
	Water Charge (WC)	52,3	
	Metered Water (MW)		
	Reused Wastewater (RWw)		
	Service Continuity (SC)	89,7	
	Sanitation (S)	96,0	
	Drinking Water (DW)	95,0	
Quality	Sanitation (S)	96,0	80,8
	Treated Wastewater (TWw)	92,8	
	Water-related diseases (W-RD)		
	Threatened freshwater amphibian species (TFA)	94,3	
	Raw Water Pollution (RWP)	26,2	
	Drinking Water (DW)	95	

Purtroppo, non è stato possibile definire due sotto-indici in Efficiency e uno in Quality (evidenziati in giallo). Le medie sono state calcolate senza considerarli, per commentare i risultati finali. L’indice definitivo è di **77,0**.

Il risultato ottenuto in Resiliency è fortemente influenzato da Green Space, che denota per Torino una bassa capacità di accumulo di acqua da precipitazioni e quindi una maggiore difficoltà nella gestione degli eventi straordinari di pioggia. È comunque presente l’impegno da parte della città verso questo aspetto, almeno rispetto agli altri capoluoghi; aumentare gli spazi verdi potrebbe quindi aiutare la città a raggiungere un buon

punteggio nell'indice generale, sebbene la situazione venga resa abbastanza incerta da Water Balance. Sarebbe inoltre opportuno reperire i dati di portata media prelevabile per avere un risultato più solido in Water Stress.

Per quanto riguarda Efficiency sembrerebbe necessario adottare alcune politiche per ridurre i consumi d'acqua da parte della popolazione, in modo da ridurre Water Charges. In generale l'indicatore è aiutato molto da Sanitation e Drinking Water (sebbene essi siano valutati a livello nazionale e non comunale).

Anche per Quality, Sanitation e Drinking Water aiutano molto a raggiungere un punteggio alto; il fattore limitante è rappresentato da Raw Water Pollution, a cui si dovrebbe dare priorità di intervento. Gli altri indicatori hanno comunque raggiunto degli ottimi risultati.

Analisi Critica e Conclusioni

Il risultato ottenuto passa per una media dei sotto-indici e per una media degli indicatori. Sebbene ciò permetta di avere una visione complessiva più immediata e renda più facile la costruzione di eventuali graduatorie, la perdita di informazioni non è trascurabile. Basti vedere, ad esempio, l'indicatore Quality, in cui il sotto-indice RWP è molto basso ma il punteggio finale è pur sempre di 80,8. Inoltre, nonostante l'accorpamento dei sotto-indici nei tre indicatori avvenga per affinità, essi rimangono comunque molto eterogenei, sia nell'aspetto che rappresentano sia nella procedura di calcolo.

Water Stress è il risultato di una media pesata. Utilizzare come pesi il numero di punti di prelievo e il totale prelevato consente un risultato che tiene conto anche delle entità relative delle derivazioni da ogni categoria; tuttavia i tipi di corpi idrici in questione sono molto differenti e ciascuno è caratterizzato da difficoltà che possono variare di molto da una città all'altra (vedasi, ad esempio, i risultati ottenuti in Raw Water Pollution o in Water Balance). Per tanto potrebbe essere consigliabile dividere questo sotto-indice per ogni categoria di corpo idrico e svolgere delle analisi più approfondite per ciascuno di essi. In questo modo, inoltre, sarebbe possibile anche considerare più aspetti come la portata del fiume da cui viene effettuato il prelievo, o il livello di falda in cui sono inseriti i pozzi ed eventualmente lo stato chimico, ecologico e/o complessivo.

La procedura per Storm Risk prevede un set di dati espressi in mm/24h. La scelta sull'unità di misura è stata guidata principalmente dai dati a disposizione: solitamente gli eventi estremi si misurano in scale temporali più brevi, dell'ordine dei mm/h, per valutare l'intensità di un evento che avviene in un più breve lasso di tempo; usare i mm/24h non permette una distinzione tra un evento concentrato ed uno più dilazionato, ma dà maggiore importanza alla quantità di pioggia caduta. Usando questi dati si possono fare delle valutazioni su un tipo di resilienza meno immediata, contando gli eventi che possono mettere a dura prova un sistema di collettamento e scarico dell'acqua piovana a cui la città è soggetta, piuttosto che gli eventi rapidi ed intensi. Ad ogni modo, è necessario individuare una soglia condivisa per queste valutazioni.

Purtroppo, non è stato possibile eliminare completamente la componente soggettiva in Water Balance, in quanto i dati provengono dalla consultazione visiva delle cartine (non interattive) e non da un database. Questo comporta un'incertezza di 0,25 sull'SPI assegnato ad un dato mese. A prescindere da ciò, i risultati possono cambiare molto da un anno all'altro, come si è visto per Torino, in quanto si assume che la casistica migliore sia quella di bilancio neutro.

Nonostante Water Related Diseases si basi su una lista condivisibile, fornita dalla World Health Organization, è difficile ottenere dati per tutte le malattie richieste. È anche vero che non tutte queste malattie siano diffuse a livello globale, pertanto la lista potrebbe essere più corta per la zona in cui si verrebbe a trovare la città in esame. Questo fattore andrebbe preso in considerazione per definire meglio il sotto-indice.

Per quanto riguarda Raw Water Pollution, dovendo lavorare con valori anche molto estremi (buono e non buono) la media finale non sembra influire molto, ma per una città con più di due categorie di corpo idrico ci potrebbe essere una certa perdita di informazione. Anche in questo caso potrebbe essere migliore un approccio come consigliato in Water Stress, in cui ogni categoria è analizzata a sé, prendendo in considerazione le stesse motivazioni.

Presentare come risultato unicamente la media finale non è abbastanza efficace perché comporta una perdita di informazioni. Gli indicatori sono più rappresentativi della situazione, sebbene non lo siano abbastanza per la performance della città. In linea generale si possono adottare i singoli sotto-indici sia per il monitoraggio della città da un anno all'altro, aggiornando quindi i valori, sia per confronti mirati con altre città, mentre i valori di classi superiori potrebbero essere usati per le graduatorie. Potrebbe essere consigliabile non considerare l'indice finale e costruire delle graduatorie in ciascuna delle tre categorie, o trascurare anche gli indicatori, passando direttamente per i sotto-indici. Slegando tali argomenti si eviterebbe, inoltre, di rappresentare il quadro generale di una città senza, magari, aver tenuto in conto alcuni fattori che l'analisi non prevede al momento e che potrebbero essere aggiunti in seguito. Questo, tuttavia, al costo di una visione frammentata del complesso, che va quindi interpretata.

In definitiva, il metodo appare più facilmente applicabile a livello nazionale piuttosto che internazionale, data la provenienza delle fonti che hanno, in parte, aiutato a formare i vari sotto-indici: questo è dovuto sia ad un'esigenza di metodo che di luogo, in quanto Torino, nonostante la sua importanza, non è allo stesso livello di una capitale, ed è più probabile che venga esclusa da analisi a livello globale.

Un'ultima considerazione viene fatta in merito al progetto del nuovo collettore mediano, che dovrebbe affiancare quello già esistente lungo il percorso del Po entro il 2025. Tale collettore avrà una lunghezza di circa 14 km ed un diametro interno di più di 3 m e con la sua installazione sarà possibile raccogliere sia le acque provenienti da eventi estremi sia le acque di prima pioggia, andando a ridurre il carico tuttora destinato al Po. Questo comporterà un miglioramento nei punteggi della città di Torino sia sotto l'aspetto della resilienza, data la nuova capacità di mobilitare elevate quantità d'acqua che all'occorrenza potranno servire da riserva nei periodi di siccità (previa depurazione all'impianto di SMAT),

sia sotto l'aspetto della qualità, andando a ridurre gli inquinanti che raggiungono il corso d'acqua principale della città e contribuendo a migliorarne lo stato ambientale. Questo progetto avrà conseguenze sia in termini temporali, aiutando a contrastare i cambiamenti climatici che interesseranno le generazioni future, sia in termini spaziali, in quanto faciliterà la gestione delle acque anche ai comuni a valle del percorso del Po e potrebbe essere utile al fine di valutare l'efficacia del metodo applicare una nuova iterazione a progetto ultimato.

Bibliografia

Pozdniakova (2017) “Smart sustainable cities: the concept and approaches to measurement”

Bosch, Jongeneel et al. (2017) “Recommendations for the smart city index”

Arcadis (2016) “Sustainable Cities Water Index”

(2002) Food and Agriculture Organization of the United Nations

Shen et al. (2011) “The application of urban sustainability indicators – A comparison between various practices”

IESE (2019) “Cities in Motion”

(2015, revised 2018) “Indicators for Sustainable Cities”

Commissione Europe (2018) “European green capital award 2018 – Technical assessment synopsis report”

Cheval (2015) “The Standardized Precipitation Index – an overview”

Arpa Piemonte “Banca dati idrologica”

Arpa Piemonte “Banca dati meteorologica”

SMAT (2018) “Bilancio di Sostenibilità 2018”

SEREMI (2016) “Notifiche delle malattie infettive in Piemonte anno 2016”

Sitografia

Sustainable Cities Water Index: [https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/which-cities-are-best-placed-to-harness-water-for-future-success-/](https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/which-cities-are-best-placed-to-harness-water-for-future-success/)

Arcadis Sustainable Cities Index: <https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/sustainable-cities-index-2016/>

Research Gate: <https://www.researchgate.net/>

World Council on City Data: <https://www.dataforcities.org/>

Deeproot: <http://www.deeproot.com/blog/blog-entries/how-iso-standardized-city-indicators-could-change-the-way-we-design>

Ericssons' City Index: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/networked-society-insights/city-index>

Siemens' Green City Index: <https://apps.espon.eu/etms/index.php/this-big-city/qr/534-siemens-green-cities-index>

European Smart Cities: <http://www.smart-cities.eu/>

ISTAT: <https://www.istat.it/>

Urban and Regional Innovation Research:

<https://www.urenio.org/2016/08/25/networked-society-city-index-2016/>

2030 Agenda – Sustainable Development (ONU):

<https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>

Catasto Derivazioni, Pozzi e Sorgenti Città Metropolitana di Torino:

<http://www.webgis.csi.it/derivb/gedeone.do>

ISPRA: <http://www.isprambiente.gov.it/it>

SMAT: <https://www.smatorino.it/>

IWA – Statistics and Economy: <https://iwa-network.org/groups/statistics-and-economics/>

FAO – Acquastat: <http://www.fao.org/aquastat/en/>

WHO: <http://www.euro.who.int/en/home>

IUCN Red List: <https://www.iucnredlist.org/>

Monitoraggio della qualità delle acque in Piemonte:

https://webgis.arpa.piemonte.it/monitoraggio_qualita_acque_mapseries/monitoraggio_qualita_acque_webapp/

Rete di Monitoraggio delle Acque – Regione Piemonte:

<http://www.regione.piemonte.it/monitgis/jsp/cartografia/mappa.do>

Epicentro – Il portale dell'epidemiologia per la sanità pubblica:

<https://www.epicentro.iss.it/territorio/piemonte/>