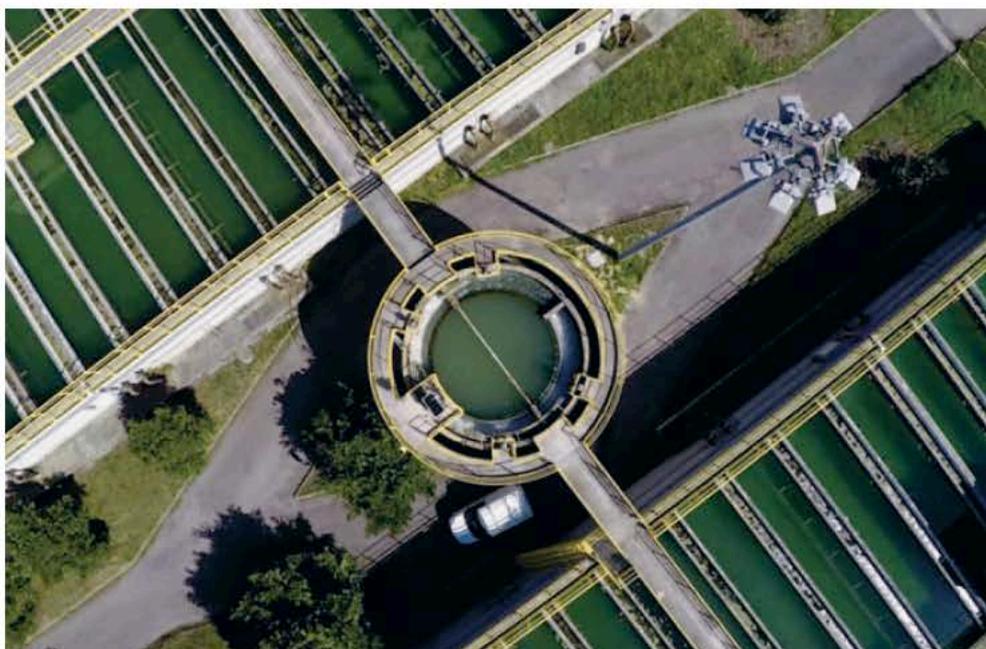


IL PIANO DI SICUREZZA DELL'ACQUA DEL COMUNE DI FIRENZE



I VOLUMI DELLA QUALITÀ

4

Cecilia Caretti, Claudio Lubello, Roberta Muoio,
Leonardo Rossi, Daniela Santianni, Giulia Tuoni

IL PIANO DI SICUREZZA DELL'ACQUA DEL COMUNE DI FIRENZE





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DICEA
DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA CIVILE
E AMBIENTALE

Coordinamento e Supervisione

Claudio Lubello

Responsabile della collana

Matteo Colombi

Autori:

Cecilia Caretti - *Università di Firenze*

Claudio Lubello - *Università di Firenze*

Roberta Muoio - *Università di Firenze*

Leonardo Rossi - *Publiacqua*

Daniela Santianni - *Publiacqua*

Giulia Tuoni - *Publiacqua*

In copertina

Firenze, impianto di potabilizzazione dell'Anconella, veduta aerea.

LEONARDO LIBRI srl

Via Livorno, 8/32 - 50142 Firenze - Tel. 055 73787

info@leonardolibri.com - www.leonardolibri.com

SOMMARIO

Presentazione	7
1. INTRODUZIONE	11
2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DI PUBLIACQUA	19
3. I PIANI DI SICUREZZA DELL'ACQUA	25
4. FORMAZIONE DEL TEAM MULTIDISCIPLINARE	29
5. IL SISTEMA IDRICO DEL COMUNE DI FIRENZE	31
5.1 Gli impianti di potabilizzazione	32
5.2 La rete di distribuzione	35
5.3 Aree di competenza dei potabilizzatori	39
6. ANALISI DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE	41
6.1 Analisi dell'acqua grezza	41
6.2 Analisi dell'acqua erogata	45
6.3 Analisi dei reclami dell'utenza	49
7. ANALISI DI RISCHIO	51
7.1 Identificazione dei pericoli e degli eventi pericolosi	51
7.2 Definizione delle misure di controllo e monitoraggio	54
7.3 Matrice di rischio e piano di miglioramento	57
7.4 Esempi di eventi pericolosi e pericoli analizzati e azioni correttive individuate	61
8. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	63
Bibliografia	65

PRESENTAZIONE

Publiacqua, con l'adozione del Piano di Sicurezza dell'acqua (PSA) per il Comune di Firenze, acquisisce uno strumento nuovo e importante per implementare la sicurezza della risorsa idrica erogata: uno strumento innovativo, basato su un approccio di *risk assessment* e *risk management*, che analizza l'intera filiera idropotabile. In questo senso il piano di sicurezza rappresenta un sistema proattivo di valutazione e gestione del rischio lungo l'intero processo per garantire nel tempo la protezione delle risorse idriche e la riduzione di potenziali pericoli per la salute umana nell'acqua destinata al consumo umano.

Uno strumento nuovo, non solo perché la redazione dei Piani in Italia è ancora in fase di sviluppo (e sicuramente deve essere valutata positivamente la scelta adottata da ARERA di inserire l'adozione dei Piani tra i criteri di valutazione dei gestori nei sistemi incentivanti la qualità tecnica), ma perché il Piano, che presentiamo in questo volume, è il primo studio effettuato su un'area vasta servita da acque superficiali. Publiacqua infatti ha deciso di avviare la procedura di PSA dall'area a più alta densità di popolazione tra quelle servite che, per questa ragione, ha un livello intrinseco di rischio maggiore, e che, allo stesso tempo, è caratterizzata da una maggiore complessità.

Lo studio si è avvalso di una collaborazione importante e fattiva tra soggetti ed istituzioni diverse. Anche per tale caratteristica il Piano di Sicurezza ha aspetti di innovazione interessanti. Tra i suoi obiettivi prioritari ha infatti proprio la collaborazione interistituzionale e la condivisione d'informazioni tra chi, in diversi ambiti di competenza, opera attività di monitoraggio, protezione del territorio e della salute, nel rispetto dei ruoli e delle competenze assegnate.

Il confronto avvenuto in sede di redazione del Piano tra i diversi soggetti interessati che vi hanno partecipato (Ministero della Salute, Istituto Superiore della Sanità, ARPAT, ASL, Autorità di Bacino Appennino Settentrionale, Autorità Idrica Toscana, Università di Firenze, Ingegnerie Toscane e gestore) rappresenta già un primo risultato del Piano stesso che, tra le altre cose, diventa un momento di scambio e, quindi, di formazione

e informazione. Il team creato per la redazione del Piano è composto infatti da esperti provenienti da discipline diverse e, per quanto riguarda Publiacqua, da dirigenti, tecnici e operatori con competenze specifiche e approfondite dei singoli segmenti della filiera produttiva e di controllo. La collaborazione interfunzionale, la condivisione delle valutazioni, e le diverse angolazioni di lettura e veduta dei temi analizzati ha garantito un approccio euristico al tema capace di cogliere i diversi gradi di interrelazione dei singoli elementi studiati e analizzati.

Conclusa la parte di analisi, il capitolo 7 del volume presenta l'analisi di rischio, il piano di miglioramento definito nel corso del lavoro e le misure di controllo e monitoraggio secondo l'approccio classico del risk control, il cuore del Piano stesso. La definizione della classe di rischio deriva dal rapporto tra probabilità di un evento e sua gravità; il rischio effettivo è quello residuale dopo l'applicazione dei controlli e delle misure di prevenzioni già attuate, di cui viene data anche una valutazione di efficacia. Definito quindi il rischio residuo si individuano le azioni correttive ulteriori da mettere in campo, dandone una prioritizzazione e scadenza. Il monitoraggio dello stato di avanzamento delle stesse è elemento che garantisce l'impegno assunto dal gestore e l'effettivo adempimento.

Con la pubblicazione del Piano vogliamo non solo consentire una diffusione della sua conoscenza in un'ottica di trasparenza verso tutti gli stakeholder aziendali, ma anche ribadire l'impegno di Publiacqua verso il rispetto degli obiettivi fissati e consentire a tutti la valutazione del loro raggiungimento.

Lorenzo Perra
Presidente di Publiacqua

IL PIANO DI SICUREZZA DELL'ACQUA DEL COMUNE DI FIRENZE



1. INTRODUZIONE

L'acqua permea tutti gli aspetti della vita sulla Terra. È un componente essenziale delle economie nazionali e locali e metà della forza lavoro a livello mondiale è occupata in otto settori industriali strettamente dipendenti dall'acqua e dalle risorse naturali (UN WWAP, 2016). La gestione sostenibile delle risorse e delle infrastrutture idriche e l'accesso ad approvvigionamenti idrici sicuri e affidabili, consentono di migliorare le condizioni di vita, garantiscono maggiore inclusione sociale e promuovono le economie locali.

Le risorse idriche si rinnovano attraverso un ciclo continuo di evaporazione, precipitazione e runoff, comunemente noto come ciclo dell'acqua. La disponibilità dell'acqua dipende dalla variabilità idrologica e dai consumi umani. Esistono diversi modi di definire e misurare la scarsità d'acqua di una data regione. L'indicatore più utilizzato è il volume annuo pro-capite di risorse idriche rinnovabili. Un'area o un paese che è sottoposto regolarmente a stress idrico ha una disponibilità di risorse idriche rinnovabili inferiore a

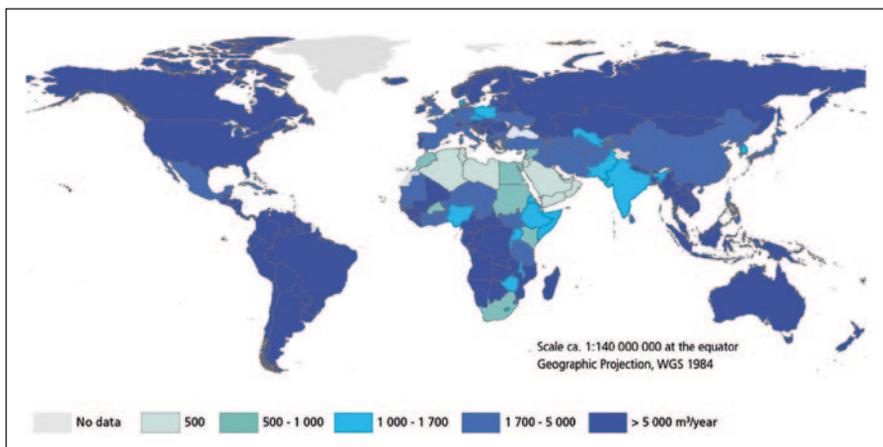


Figura 1: Disponibilità pro-capite di risorse idriche rinnovabili per anno, 2014 (fonte: WWAP, 2016)

1700 m³ pro-capite per anno. Le popolazioni fronteggiano scarsità idriche croniche quando la disponibilità idrica non raggiunge i 1000 m³ pro-capite per anno, e scarsità d'acqua assoluta quando è inferiore a 500 m³ pro-capite per anno. La Figura 1 riassume la disponibilità di risorse idriche rinnovabili per paese nel 2014 (UN WWAP, 2016), le regioni del mondo sottoposte al maggiore stress idrico sono l'Africa e alcuni stati dell'Asia e dell'Europa.

Un secondo indicatore che consente di misurare la pressione antropica sulle risorse idriche è dato dal rapporto tra prelievo e disponibilità di acqua, Figura 2. Maggiore è tale rapporto, maggiore è lo stress a cui va incontro il sistema idrico e più difficoltoso sarà soddisfare i livelli della domanda.

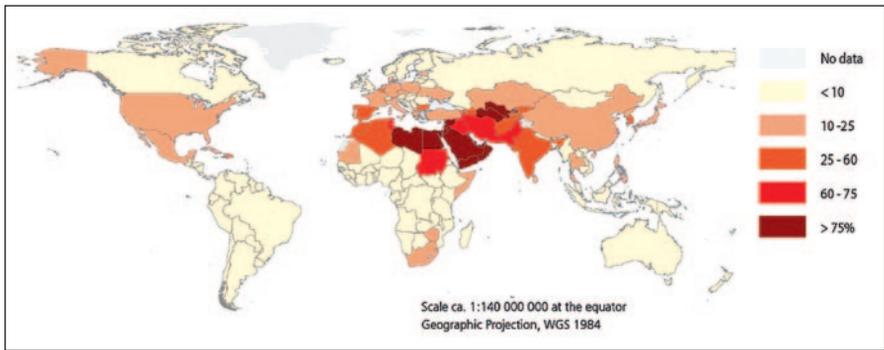


Figura 2: Percentuale di risorse idriche rinnovabili prelevate (fonte: WWAP, 2016)

L'Italia si colloca in una posizione privilegiata, avendo una disponibilità idrica tra 1700 e 5000 m³/anno, con una percentuale di prelievo tra il 10-25%, anche se condizioni regionali o locali possono risultare invece più critiche. I paesi che affrontano carenze idriche più gravi sono principalmente situati in Asia meridionale, Africa settentrionale e Cina settentrionale, sebbene criticità stagionali possono avvenire in tutti i continenti.

Nel 2015, oltre 150 leader internazionali si sono incontrati alle Nazioni Unite per contribuire allo sviluppo globale, promuovere il benessere umano e proteggere l'ambiente. La comunità degli Stati ha approvato l'Agenda 2030, i cui elementi essenziali sono i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (OSS), validi a scala globale. Il sesto OSS fa riferimento all'acqua e intende "garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie". All'interno di questo Obiettivo rientra, pertanto, l'accesso all'acqua potabile e ai servizi igienici, la protezione e il ripristino degli

ecosistemi legati all'acqua, il miglioramento della qualità dell'acqua e la riduzione dell'inquinamento, in particolare quello da sostanze chimiche pericolose (fonte: <https://sdgs.un.org/goals>). Secondo l'ultimo report delle Nazioni Unite sugli OSS, ad oggi, solo 7 persone su 10 nel mondo hanno accesso ad acqua potabile gestita in modo sicuro e solo 4 su 10 hanno accesso a idonei servizi igienico-sanitari. Secondo le stime più recenti, circa 3 miliardi di persone non hanno la possibilità di lavarsi le mani con acqua e sapone nelle proprie case, una delle misure meno costose e più semplici per

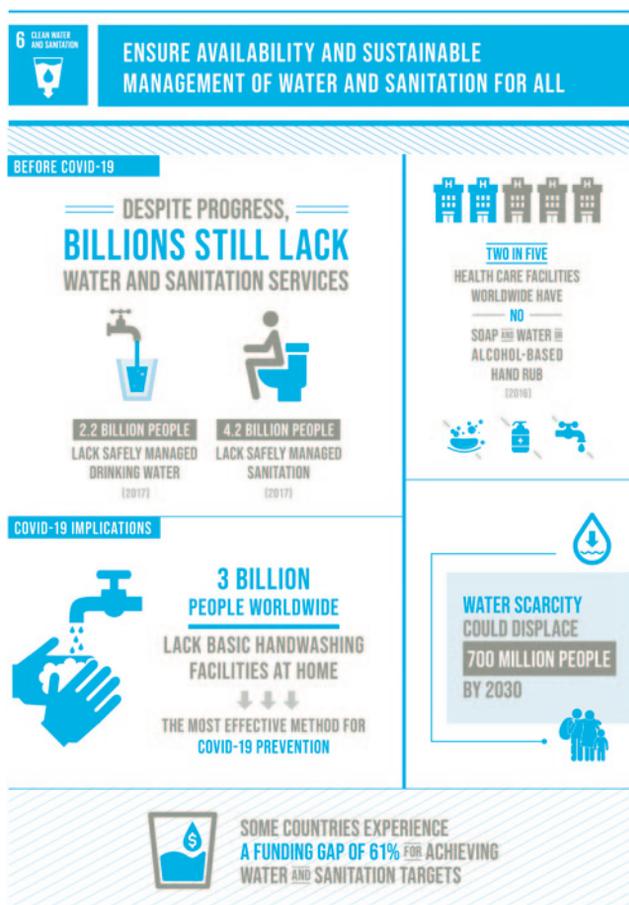


Figura 3: I numeri mondiali sul OSS 6 (fonte: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>)

combattere e prevenire le malattie come il coronavirus. Ad oggi, 4.2 miliardi di persone affrontano sfide quotidiane per accedere ai servizi igienici essenziali (Figura 3).

L'Italia detiene il primato europeo del prelievo di acqua per uso potabile da corpi idrici superficiali e sotterranei con una percentuale di perdite nei sistemi di adduzione e distribuzione molto elevato (ISTAT, 2020). Secondo quanto stabilito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), la quantità d'acqua minima per le necessità idriche, igieniche e alimentari di ognuno è pari a 50 litri al giorno pro-capite; mentre 20 litri al giorno pro-capite è la quantità minima necessaria in situazioni di emergenza (WHO, 2013).

Tra il 2011 e il 2050, la popolazione mondiale aumenterà del 33%, raggiungendo 9.3 miliardi di persone (UN DESA, 2011). La domanda globale di acqua (per uso domestico, industriale e agricolo) aumenta dell'1% ogni anno e, contemporaneamente, il ciclo dell'acqua si modifica per effetto del cambiamento climatico, con il risultato che le regioni umide lo saranno sempre di più e quelle aride diventeranno sempre più aride. Secondo le più recenti stime (Figura 4), la domanda idrica globale aumenterà del 55% a causa delle maggiori richieste del settore manifatturiero (400%), per la generazione di energia elettrica (140%) e per l'utilizzo domestico (120%). Di conseguenza, negli anni sarà sempre più difficile soddisfare le esigenze e i fabbisogni idrici necessari.

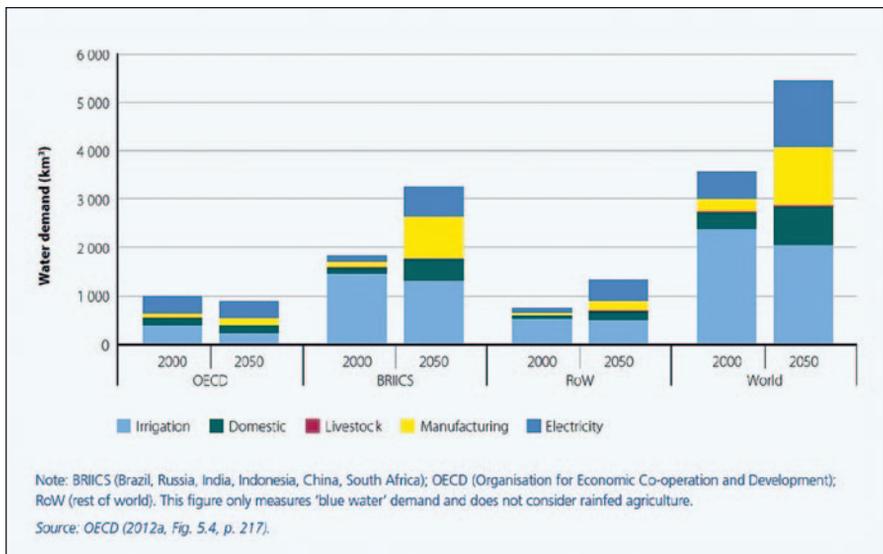


Figura 4: Richiesta idrica globale, scenario di riferimento (2000) e scenario futuro (2050) (fonte: WWAP, 2016)

La disponibilità di risorse idriche, inoltre, è strettamente correlata alla qualità delle stesse. Acque di scarsa qualità possono risultare non idonee alle varie tipologie d'uso e il costo del trattamento proibitivo. Secondo uno studio recente (Veolia e IFPRI, 2015) nel 2050 un quinto della popolazione mondiale vivrà in ambienti con elevati rischi correlati a eccessive concentrazioni di BOD, mentre un terzo dovrà far fronte ai rischi causati dalla eccessiva quantità di azoto e fosforo (derivanti dall'uso di fertilizzanti).

Come abbiamo visto, la qualità e la disponibilità di acqua sono temi attuali che hanno un legame diretto con la salute dell'uomo. È noto che il rischio più facilmente riconducibile all'uso di acqua potabile contaminata è correlato alla presenza di microrganismi patogeni enterici nelle acque destinate al consumo umano. Episodi di malattie ed epidemie correlate al consumo di acqua potabile sono tuttora ampiamente documentate, sia nei paesi sviluppati che quelli in via di sviluppo (Hrudey e Hrudey, 2007; Moreira e Bondelind, 2016). Nonostante i processi di trattamento e la loro evoluzione nel corso degli anni, nelle acque è possibile rilevare una presenza costante di carica microbica naturale, ma anche, in taluni casi, di microrganismi derivanti da contaminazioni esterne che hanno superato le barriere del trattamento di potabilizzazione. Diviene indispensabile adottare approcci preventivi per la valutazione e gestione del rischio di origine idrica, secondo un approccio che sia in grado di considerare le possibili cause di contaminazione e la probabilità di accadimento di fallanze dei sistemi acquedottistici. L'analisi del rischio è una procedura consolidata in diversi campi che permette, se correttamente applicata, di descrivere qualitativamente e/o quantitativamente la probabilità e l'impatto di alcuni eventi indesiderati. La definizione convenzionalmente attribuita al rischio è data dal prodotto tra la probabilità (P) di accadimento di un evento avverso e la gravità (G) delle conseguenze:

$$R = P \times G$$

L'analisi di rischio trova applicazione in diversi campi, dalla finanza all'ingegneria, dall'ambiente agli alimenti. Ad esempio, in ambito ingegneristico, si effettua un'analisi di rischio dalla quantificazione della sicurezza stradale, allo studio dei fenomeni alluvionali, così come per la bonifica dei siti contaminati, la progettazione strutturale degli edifici, la progettazione e gestione di impianti tecnologici, ecc. Nell'ambito dell'analisi di rischio per esposizione ad agenti patogeni e/o chimici, si ricorre spesso ai risultati di analisi epidemiologiche utili a ricavare relazioni dose-risposta, ossia correlazioni tra la dose assunta e il danno associato all'esposizione. Le correlazioni va-

riano a seconda della tipologia di composto o microrganismo. Nel caso di composti cancerogeni, ad esempio, si stima la probabilità di contrarre il cancro in seguito ad esposizione nel corso della vita ad una dose giornaliera unitaria; nel caso di composti non cancerogeni si ricava il livello di tossicità, ossia il più alto livello di dose sperimentale in cui non si osserva un effetto statisticamente o biologicamente significativo. Tali indagini sono spesso onerose, sito-specifiche, e possono avere un elevato grado di incertezza, nonostante ciò rappresentano la base scientifica per la quantificazione degli effetti associati all'esposizione.

Nel 2004, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha introdotto il concetto di *Water Safety Plan* (WSP) (o Piano di Sicurezza dell'Acqua, PSA) quale approccio sistematico e preventivo per la valutazione e gestione del rischio associato a ciascuna fase della filiera idrica, dalla captazione alla distribuzione (WHO, 2017). La necessità di adottare tali approcci nell'ambito dei servizi idrici nasce dall'importanza di assicurare costantemente l'accesso e la fornitura di acqua potabile garantendone la sicurezza ai fini della protezione della salute pubblica. I principi del PSA si basano su varie metodologie di analisi di rischio ben consolidate, tra cui l'Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP), applicata, fin dagli anni sessanta del secolo scorso, nel settore alimentare. A partire dalla loro introduzione, nel 2004, i PSA sono stati applicati in oltre 93 paesi in tutto il mondo, sia sotto forma di studi pilota che su larga scala (WHO e IWA, 2017). In Italia, nel 2014 sono state pubblicate, da parte dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), le *"Linee guida per la valutazione e gestione del rischio nella filiera delle acque destinate al consumo umano secondo il modello dei Water Safety Plans"* (Lucentini et al., 2014); esse rappresentano il riferimento per l'applicazione dei PSA a livello nazionale.

La Direttiva Europea 1787/2015, che modifica gli Allegati II e III della Direttiva 98/83/CE (concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano), favorisce l'adozione di strumenti per la valutazione del rischio nell'ambito del servizio idrico integrato (SII), introducendo di fatto, il concetto di PSA a livello legislativo. Un rafforzamento ulteriore di questo approccio è contenuto nella Direttiva (UE) 2020/2184 che abroga dal 13 gennaio 2023 la precedente 98/83/CE. Si tratta di un atto molto rilevante in quanto è il primo intervento legislativo europeo che viene adottato a seguito di una iniziativa dei Cittadini Europei (ICE), il Right2Water (*"Acqua potabile e servizi igienico-sanitari: un diritto umano universale! L'acqua è un bene comune, non una merce!"*), avviato nel 2012. Tra le novità presenti nel testo della direttiva, infatti, viene specificato l'obbligo del monitoraggio della

qualità dell'acqua distribuita basandosi sull'analisi di rischio. L'approccio comporta i seguenti elementi (art.7):

- a) una valutazione e gestione del rischio dei bacini idrografici per i punti di estrazione di acque destinate al consumo umano;
- b) una valutazione e gestione del rischio di ciascun sistema di fornitura che includa l'estrazione, il trattamento, lo stoccaggio e la distribuzione delle acque destinate al consumo umano fino al punto di erogazione, effettuata dai fornitori di acqua;
- c) una valutazione del rischio dei sistemi di distribuzione domestici.

Nella Direttiva sono indicati i tempi massimi per lo svolgimento delle analisi di rischio prima elencate ed alcune modalità operative di attuazione.

In questo contesto culturale e normativo in via di completa definizione ed attuazione, nel febbraio 2018 Publiacqua SpA, società affidataria della gestione del Servizio Idrico Integrato nelle province di Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo, per un totale di 45 comuni, ha avviato, su base volontaria, il Piano di Sicurezza delle Acque del sistema acquedottistico del comune di Firenze. Si tratta del primo Piano nazionale implementato in un sistema che prevede l'utilizzo di acqua superficiale (fiume Arno) per la produzione di acqua destinata al consumo umano su larga scala.

La scelta di effettuare il primo PSA è ricaduta sul sistema acquedottistico del comune di Firenze per due ragioni principali:

- 1) Si tratta di un territorio vasto (380 000 abitanti, 85 Mm³ erogati, 900 km di rete) che rappresenta il 31% della popolazione totale servita e il 53% del volume totale prodotto da Publiacqua. Inoltre, l'acqua prodotta dai due potabilizzatori Anconella e Mantignano è in buona parte erogata anche nei comuni limitrofi fino alla zona del Chianti e a Pistoia;
- 2) La risorsa idrica utilizzata ai fini della potabilizzazione è in gran parte superficiale (fiume Arno) e, come tale, è caratterizzata da un elevato livello di rischio in relazione alla variabilità delle sue caratteristiche quali-quantitative.

A livello nazionale, infatti, secondo l'ultimo censimento ISTAT, solo il 4.8% dei prelievi di acqua per uso potabile avviene tramite corsi d'acqua superficiali, mentre il 48% riguarda prelievi da pozzo e il 36.3% prelievi da sorgenti (Figura 5). Pertanto è evidente come il caso del comune di Firenze, presenti delle peculiarità e complessità rare sul territorio nazionale, sia per tipologia di risorsa trattata che per i volumi prodotti.

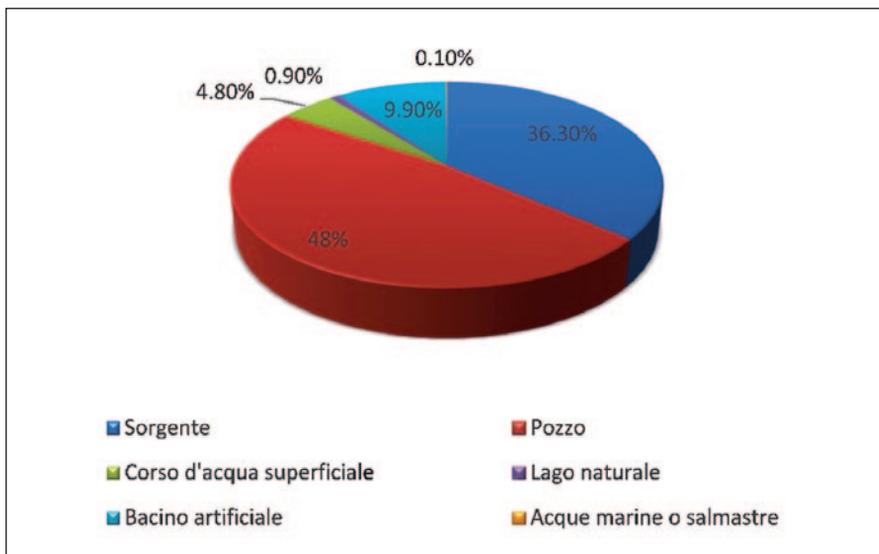


Figura 5: Prelievi di acqua per uso potabile per tipologia di fonte. Anno 2015 (fonte: ISTAT)

Nel presente volume, sono descritte, nel dettaglio, le fasi che hanno portato all'implementazione del PSA del comune di Firenze secondo le linee guida nazionali e internazionali (Lucentini et al., 2014; WHO, 2009a). Si tratta di un processo durato due anni e che ha visto la partecipazione di numerosi esperti all'interno di un team multidisciplinare, con la collaborazione scientifica del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze.

2.

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO DI PUBLIACQUA

Come già accennato Publiacqua SpA è il gestore del servizio idrico integrato della Conferenza n.3 Mediovaldarno in attuazione della legislazione nazionale (D.Lgs. n. 152/2006) e regionale (L.R. n. 69/2011). Il territorio gestito, che comprende 45 comuni fra cui i comuni capoluogo di Firenze, Prato e Pistoia, ha caratteristiche molto composite. Al suo interno, per abitanti serviti, densità abitativa e presenza di attività economiche e produttive, riveste un ruolo centrale l'area metropolitana il cui approvvigionamento è garantito da una pluralità di risorse, con una consistente prevalenza di quelle superficiali, in particolare del fiume Arno che costituisce la principale e fondamentale fonte di approvvigionamento per Firenze. L'area metropolitana è caratterizzata da una spiccata integrazione infrastrutturale acquedottistica, con possibilità di scambio delle risorse idriche sfruttate.

Fuori dall'area metropolitana sono invece presenti molti sistemi acquedottistici con livelli di integrazioni differenziati, una grande disseminazione di opere di approvvigionamento (alcune delle quali di modestissima potenzialità) e con elementi di rischio completamente diversi rispetto ai comuni più fortemente urbanizzati.

Il PSA si inserisce in un contesto, sia gestionale che di controllo, già consolidato per l'azienda riguardo la sicurezza della qualità dell'acqua distribuita. In particolare la gestione delle infrastrutture e il controllo della qualità dell'acqua sono un elemento prioritario per il gestore anche nell'ottica della prevenzione di eventuali fenomeni critici che potrebbero mettere a rischio la qualità e la sicurezza dell'acqua. Il gestore del servizio idrico fa parte di un sistema regolatorio che prevede al suo interno una serie di strumenti volti al controllo del servizio ai sensi di una disciplina che nel tempo si è molto specializzata, a garanzia della qualità del servizio erogato. Lo strumento alla base della convenzione di gestione è costituito dal Piano di Ambito, elaborato dalla Autorità Idrica della Toscana, all'interno del quale sono definiti:

- Gli Indicatori di Performance e gli Standard Tecnici che consentono di verificare la capacità del Gestore a realizzare gli investimenti previsti e con essi raggiungere gli obiettivi prefissati;
- La struttura dei macro interventi, e le norme di Piano che danno precisi indirizzi sulle attività da svolgere per ottimizzare il servizio, ridurre i costi, monitorare in maniera corretta tutti i parametri del servizio idrico in modo da poter intervenire tempestivamente in caso di necessità;
- Gli standard organizzativi che consentono di monitorare la capacità gestionale del Gestore evidenziandone le criticità laddove esse si presentano e quindi verificarne l'efficienza in rapporto anche ai costi operativi sostenuti.

In questo contesto Publiacqua ha organizzato le proprie filiere dei diversi processi industriali al fine di garantire un livello di sicurezza adeguato in relazione ai molteplici vincoli di riferimento, tecnici, normativi e concessionari. Fulcro del sistema di monitoraggio è costituito dal Laboratorio di qualità che è responsabile di verificare il rispetto dei riferimenti legislativi in tema di protezione della salute e di controllo dei processi di trattamento. A titolo di esempio nell'anno 2020 sono stati eseguite oltre 10.000 campioni per analisi sull'acqua potabile con un numero complessivo di oltre 300.000 parametri monitorati.

L'attività di controllo è strettamente correlata con la stessa struttura distributiva delle opere. Il territorio servito è infatti suddiviso in oltre 200 sistemi acquedotti e distretti, ciascuno dei quali è monitorato in funzione delle sue specifiche caratteristiche tecnologico-funzionali (risorsa distribuita, impianti presenti, popolazione servita, ...).

Sempre nell'ambito della garanzia della qualità del servizio e della continuità di erogazione dell'acqua presso i diversi utenti Publiacqua ha implementato un sistema organizzativo che consenta di monitorare costantemente il sistema complessivo.

Le attività operative sono gestite attraverso un sistema di pianificazione delle priorità lavorative definite secondo i criteri dettati dalla normativa, dalla carta del servizio e dal regolamento, dalle esigenze tecniche e dalle istanze degli utenti.

L'attività pianificata viene registrata e portata a sistema attraverso sistemi tecnologici in continua evoluzione, che consentono lo scambio di informazioni tra operatività e gestione e sportelli e call center a diretto contatto con l'utenza.

Sull'intero perimetro di servizio, durante l'anno 2019 risultavano 42.724 richieste dopo l'attivazione del servizio, 10.060 richieste scritte da parte degli utenti e 408.926 contatti da Publiacqua verso gli utenti attraverso vari canali compresi sportello al pubblico e call center.

A fianco alle attività pianificate sono presenti quelle dovute a condizioni impreviste e a segnalazioni dei cittadini che vengono integrate in un unico sistema di Work Force Management (WFM) che consente la registrazione degli interventi e la ripianificazione eventualmente necessaria.

Accanto al sistema WFM per la gestione delle attività operative, affidate al personale, è presente il sistema di telecontrollo SCADA, attraverso il quale il territorio è monitorato sia nella sua parte impiantistica sia in quella di distribuzione in rete.

Il sistema di telecontrollo è dotato anche di sistemi di telecomando per alcuni impianti principali.

Il presidio del telecontrollo prevede la presenza 24H su 24H nella sala controllo dedicata.

Eventuali allarmi ed anomalie rilevati vengono comunicati al personale reperibile.

I punti soggetti a telecontrollo sono 1139 e comprendono impianti, serbatoi, sollevamenti nodi del sistema idrico, mentre i parametri controllati a partire da quelli relativi ad allarmi sulla sicurezza fisica fino a quelle relativi alle portate rilevate ed ai parametri chimico fisici sono 22434.

L'attività di monitoraggio prevede, oltre al laboratorio ed al telecontrollo anche la distrettualizzazione, che consente, attraverso l'utilizzazione di modelli matematici di rilevare le criticità sulla rete e pianificarne l'efficientamento. La distrettualizzazione consente, inoltre, di ricavare le informazioni utili al calcolo del bilancio idrico.

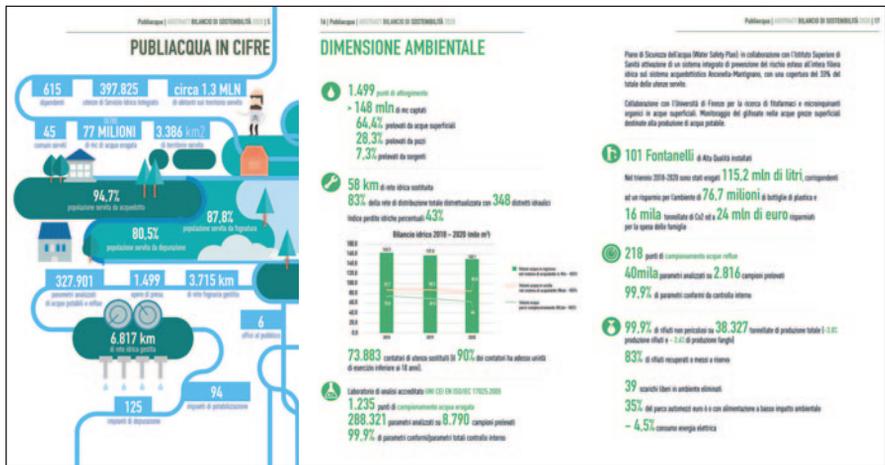
Anche questa attività è in evoluzione ed al momento attuale ha portato all'individuazione di circa 300 distretti idrici sul territorio totale, che consentono il sezionamento della rete e l'analisi delle varie situazioni sul territorio.

La crescente richiesta di dati e resoconti da parte dei molteplici enti di controllo e regolazione induce a ricercare un affinamento dei sistemi e della strumentazione dedicata sempre più spinto in modo da ottimizzare le energie profuse, sia in termini di risorse economiche che di capitale umano impiegato.

Alla luce di queste considerazioni i sistemi vengono continuamente aggiornati e resi interfacciabili per limitare al massimo i costi di trasferimento per l'utilizzazione delle informazioni nell'uno o nell'altro sistema. Le informazioni presenti nei vari data base devono essere infatti coerenti ed utilizzabili sia dal punto di vista della risposta tecnica

sul territorio che da quello della risposta ai cittadini, che alle autorità regolatorie e di controllo.

Uno degli sforzi significativi fatti negli anni, e che sta continuando, è quello di poter attingere ad un'unica banca dati, che consenta, tramite il sistema Web GIS di poter estrarre le informazioni relative al sistema idrico sul territorio.



Negli anni Publicacqua ha ottenuto le certificazioni dei sistemi di Gestione Qualità, Ambiente, Sicurezza secondo gli standard delle norme internazionali ISO.

Tali standard, nelle loro più recenti revisioni, si basano su una struttura paragonabile, così detta di "alto livello", che consente di ritrovare gli stessi elementi nei punti norma corrispondenti nei diversi schemi ISO 9001 (qualità), ISO 14001(ambiente), ISO 45000(sicurezza).

Lo schema di alto livello consente di approfondire, secondo criteri analoghi gli aspetti organizzativi (ISO 9001), quelli ambientali (ISO 14001) e quelli di salute e sicurezza negli ambienti di lavoro (ISO 4500). Inoltre la base comune delle norme ISO di riferimento per le certificazioni di sistema è passata dall'impostazione dell'ottenimento di un miglioramento continuo attraverso definizione di controlli e verifiche all'ottenimento del miglioramento continuo attraverso la valutazione del rischio e del contesto.

La definizione del rischio nel contesto considerato, costituito anche dai portatori d'interesse coinvolti, porta ad una valutazione quali-quantitativa che consente di in-

dividuate azioni di mitigazione da attuare nel tempo per diminuire il rischio inerente corrispondente alla situazione di partenza.

Questi processi ciclici che conducono al miglioramento continuo necessitano di un riesame periodico che evidenzi lo stato di avanzamento delle azioni intraprese ed il nuovo livello di rischio così raggiunto.

Questi principi sono quelli alla base della costruzione del WSP e costituiscono la base delle normative di respiro europeo che sempre più spostano l'attenzione da una filosofia del controllo ad una della prevenzione.

3.

I PIANI DI SICUREZZA DELL'ACQUA

Un PSA, in termini generali, è strutturato in tre macro-azioni (Lucentini et al., 2014): 1) Preparazione e pianificazione; 2) Valutazione del sistema e dei rischi; 3) Revisione del sistema per il controllo dei rischi. Il processo è in molti casi iterativo e richiede pertanto un'adeguata flessibilità in corso di attuazione. Nel dettaglio, un PSA si compone delle seguenti fasi (Figura 6):

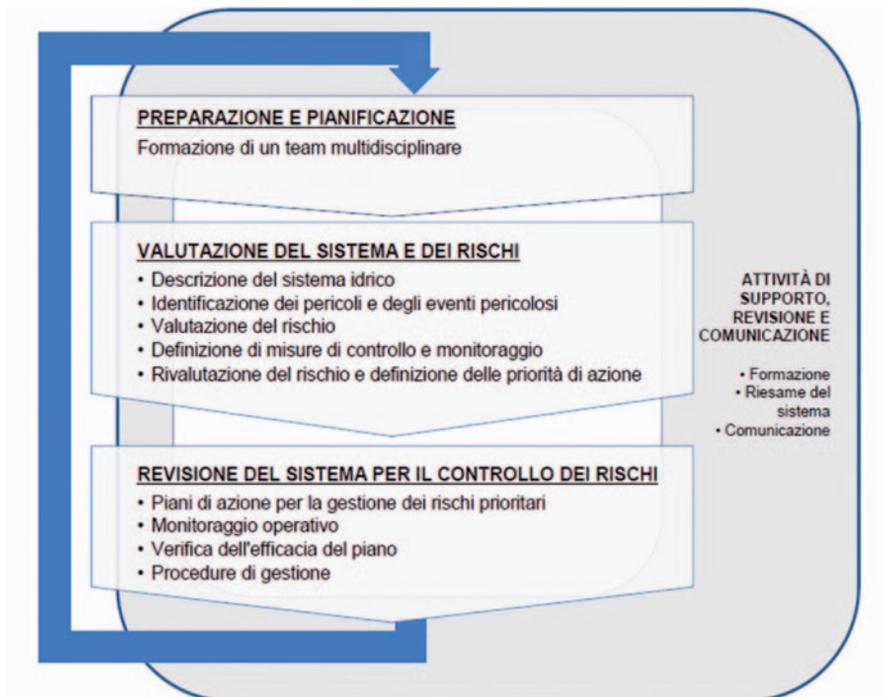


Figura 6: Fasi di un PSA (fonte: Lucentini et al., 2014)

1. Formazione del team multidisciplinare;
2. Descrizione del sistema idrico;
3. Identificazione dei pericoli e degli eventi pericolosi;
4. Definizione di misure di controllo e monitoraggio;
5. Rivalutazione del rischio e definizione delle priorità di azione;
6. Piani di azione per la gestione dei rischi prioritari;
7. Monitoraggio operativo;
8. Verifica dell'efficacia del piano;
9. Procedure di gestione.

L'obiettivo principale è l'analisi dei rischi di contaminazione dell'acqua potabile in un sistema idrico al fine di proteggere e preservare la salute umana: il PSA, introducendo un approccio innovativo e preventivo rispetto al monitoraggio convenzionale, ridefinisce i criteri di controllo della qualità delle acque. Tale approccio consente di analizzare l'intera filiera del ciclo di potabilizzazione per identificare, mitigare e, se possibile, eliminare i fattori di rischio nonché prevenire eventuali ricontaminazioni in fase di stoccaggio e distribuzione dell'acqua.

La prima fase del PSA comprende la formazione di un team multidisciplinare composto dal Gestore congiuntamente ad altri enti e società esterne. Il team è presieduto da un team leader con spiccate capacità di coordinamento e comunicazione e adeguata conoscenza del sistema. All'interno del team devono essere presenti tutte le expertise necessarie (dirigenti e tecnici di vari settori, esperti nell'assicurazione della qualità delle acque, etc.) per l'identificazione di tutti i possibili pericoli ed eventi pericolosi e per la corretta valutazione dei rischi. Inoltre, è indispensabile la presenza di ASL e ARPA quali portatori di conoscenza; esse intervengono nella identificazione dei pericoli ed eventi pericolosi e condividono dati e informazioni utili. Altri portatori di conoscenze utili possono essere le Università ed Enti di Ricerca, così come professionisti a seconda delle esigenze di approfondire specifiche tematiche tecniche. Va comunque sottolineato che la costruzione multidisciplinare del team costituisce un elemento essenziale per cogliere la novità dell'approccio dell'analisi di rischio.

La fase successiva riguarda la valutazione del sistema e dei rischi. L'obiettivo è la raccolta di informazioni e documenti necessari alla caratterizzazione delle infrastrutture e dei processi coinvolti, in maniera tale da realizzare una fotografia aggiornata del sistema. Questa fase prevede inoltre l'analisi dei dati qualitativi della risorsa idrica sia a

monte che a valle dei trattamenti di potabilizzazione. Oggetto di valutazione devono essere tutte le fasi della filiera idropotabile, dalla captazione alla distribuzione. Si rendono altresì necessari dei sopralluoghi *in situ* per verificare lo stato di conoscenza sul singolo elemento del sistema. Per facilitarne la comprensione si rende opportuno un diagramma di flusso semplificato in cui racchiudere le principali informazioni. Successivamente, si passa alla identificazione dei pericoli e degli eventi pericolosi. Un pericolo è definito come “qualsiasi agente in grado di provocare un effetto negativo per la salute umana attraverso il consumo di acqua potabile” (Lucentini et al., 2014) e può essere di natura chimica, microbiologica, fisica e radiologica. Un evento pericoloso, invece, è qualsiasi situazione che può portare alla presenza di un elemento di pericolo nell’acqua potabile. L’identificazione dei pericoli e degli eventi pericolosi deve essere condotta per ogni elemento del sistema e deve prendere in considerazione: calamità naturali, contaminazioni accidentali o dolose, manutenzione della distribuzione, incidenti, etc. Una volta identificati i pericoli e gli eventi pericolosi si prosegue con la valutazione del rischio attraverso il prodotto tra la probabilità di accadimento dell’evento (P) e la gravità dello stesso (G). La valutazione sia della probabilità P, che della gravità G possono avvenire con metodologie molto differenti in relazione alla tipologia dei dati utilizzati ed ai fenomeni che essi rappresentano. E’ evidente che l’utilizzo di approcci numerici quantitativi (analisi statistica, modellistiche di processo, ...) permettono di raggiungere risultati più consistenti e ripetibili, rispetto a soluzioni di carattere unicamente qualitativo. D’altra parte la complessità dei fenomeni analizzati e la difficile rappresentazione di tutte le interrelazioni può rendere necessario l’uso di metodi più semplificati, sempre però in una logica di rigore metodologico.

La valutazione delle criticità è in armonia con i criteri che l’Autorità Idrica della Toscana ha adottato per la predisposizione del Piano di Ambito. Gli interventi che riguardano gli investimenti e le azioni di gestione delle opere sono, infatti, collegati a specifiche criticità individuate sulla base di parametri, solitamente misurabili, con cui il Gestore deve confrontarsi ed i cui obiettivi sono parte integrante della Convenzione di Gestione.

In base alle risultanze della valutazione del rischio, si definiscono, ove necessario, le azioni specifiche di miglioramento e si stila un apposito piano di miglioramento con definizione delle azioni prioritarie. E’ importante notare come la seconda fase non si limiti quindi ad una semplice valutazione delle criticità, ma si completi nella definizione delle azioni correttive che possono essere di varia natura, sia infrastrutturale, che gestionale.

La terza fase riguarda la revisione del sistema per il controllo dei rischi. In questa fase vengono monitorati nel tempo il funzionamento e l'efficacia delle azioni individuate nel piano di miglioramento. Il fine del monitoraggio operativo è, infatti, quello di fornire evidenza che le misure di controllo stiano funzionando come previsto, in tal modo si procede alla verifica dell'efficacia del piano. In questo senso il PSA è uno strumento che si sviluppa ed aggiorna nel tempo. Per questa ragione è importante definire con attenzione i criteri di valutazione del rischio in modo sufficientemente rigoroso e replicabile nelle diverse condizioni evolutive nel tempo. Va aggiunta infine l'importanza che il monitoraggio operativo si innesti nelle procedure aziendali che devono prevedere quindi la raccolta e la gestione di tutti i dati necessari alla valutazione dell'efficacia del Piano.

4.

FORMAZIONE DEL TEAM MULTIDISCIPLINARE

In relazione alla complessità del territorio servito ed alla diversità dei contenuti di rischio, Publiacqua ha deciso di avviare la procedura di PSA partendo dall'area a più alta densità di popolazione, che per questa ragione ha un livello intrinseco di rischio maggiore. Nel marzo 2018 Publiacqua ha quindi dato il via al progetto del PSA del comune di Firenze ed ha costituito il team multidisciplinare coinvolgendo vari enti e società quali: Istituto Superiore di Sanità (ISS), ARPAT, USL Toscana centro, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Firenze, Regione Toscana, Autorità Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, Ingegnerie Toscane Srl, Autorità Idrica Toscana (AIT), Comune di Firenze e Ministero della Salute, per un totale di oltre 40 esperti.

Publiacqua ha coordinato il team attraverso la nomina di un team leader e ha coinvolto dirigenti, tecnici, responsabili e operatori, per un totale di 13 componenti interni aventi una conoscenza approfondita di ogni segmento della filiera. Gli esperti esterni, individuati secondo i criteri indicati nella bibliografia citata, sono stati selezionati, ciascuno nel proprio settore di competenza, quali portatori d'interesse e conoscenze a sostegno e supporto del gestore. Il team si è riunito periodicamente partecipando a tutte le fasi di implementazione e condividendo conoscenze, expertise, know-how, dati e, infine, approvando l'output del PSA. Gli incontri, inizialmente utilizzati per la formazione effettuata da ISS, hanno riguardato, in seguito, la descrizione dettagliata del sistema idrico, le ispezioni e i sopralluoghi delle principali infrastrutture (invaso Bilancino, opere di presa superficiali e sotterranee, potabilizzatori e serbatoi), approfondimenti sul tema delle pressioni antropiche e sugli aspetti chimici e microbiologici e, infine, la condivisione della matrice di rischio e delle azioni di miglioramento. La collaborazione e la condivisione di idee e opinioni è stata una delle chiavi di successo per la buona riuscita del PSA. La presenza del team ha altresì permesso di favorire il dialogo e la cooperazione tra i vari enti al solo scopo di incrementare la sicurezza del sistema

idrico, la qualità dell'acqua e di proteggere e tutelare la salute pubblica. Uno dei punti di forza del PSA è infatti proprio quello di giungere ad una valutazione del rischio attraverso un approccio multidisciplinare ed euristico. In questo modo nessuno elemento viene isolato, ma è rappresentato nel contesto più ampio di cui fa parte, cogliendo i diversi gradi di interrelazione con la filiera di processo. In aggiunta i diversi soggetti istituzionali coinvolti partecipano ad un processo di auto-responsabilizzazione e condivisione delle valutazioni, che risulta fondamentale per la gestione del rischio in tutte le fasi successive di monitoraggio e gestione della fase attuativa del Piano.

5. IL SISTEMA IDRICO DEL COMUNE DI FIRENZE

Il sistema acquedottistico del comune di Firenze serve circa 380 000 abitanti (31% della popolazione totale servita da Publiacqua) e prevede l'utilizzo di una risorsa idrica superficiale (fiume Arno) per la produzione di acqua destinata al consumo umano e, solo in piccola parte, di acqua sotterranea. La continuità del servizio su tutto l'arco delle 24 ore, 365 giorni l'anno, è garantita dalla presenza di due potabilizzatori, Anconella e Mantignano che, insieme, immettono in rete circa 85 Mm³/anno di cui, una parte sostanziale (35%) a servizio dei territori limitrofi. Il bacino imbrifero a monte dei due potabilizzatori (oltre 4200 km² e 500 000 abitanti) è caratterizzato da un'elevata densità di attività agricole e industriali e sono altresì presenti scarichi da impianti di depurazione. Tutto ciò causa una pressione antropica eterogenea e significativa sul sistema. Inoltre, nel periodo estivo, a causa della scarsità idrica dell'Arno, la portata del



Figura 7: Inquadramento geografico del fiume Arno, invaso Bilancino, fiume Sieve e collocazione dei due potabilizzatori Anconella e Mantignano

fiume è integrata con quella rilasciata, tramite il fiume Sieve, dall'invaso Bilancino, un lago artificiale situato circa 15 km a nord di Firenze (Figura 7). Pertanto, in estate, mediamente il 50% della portata influente ai potabilizzatori proviene dall'invaso.

La produzione totale degli impianti di potabilizzazione è pari a 85 Mm³, di cui circa 55 Mm³ a servizio del comune di Firenze e i restanti 30 Mm³ a servizio delle aree limitrofe e, in particolare, dei comuni di Prato e Pistoia a nord-est (15 Mm³) e della zona del Chianti a sud (5 Mm³) (Figura 8).

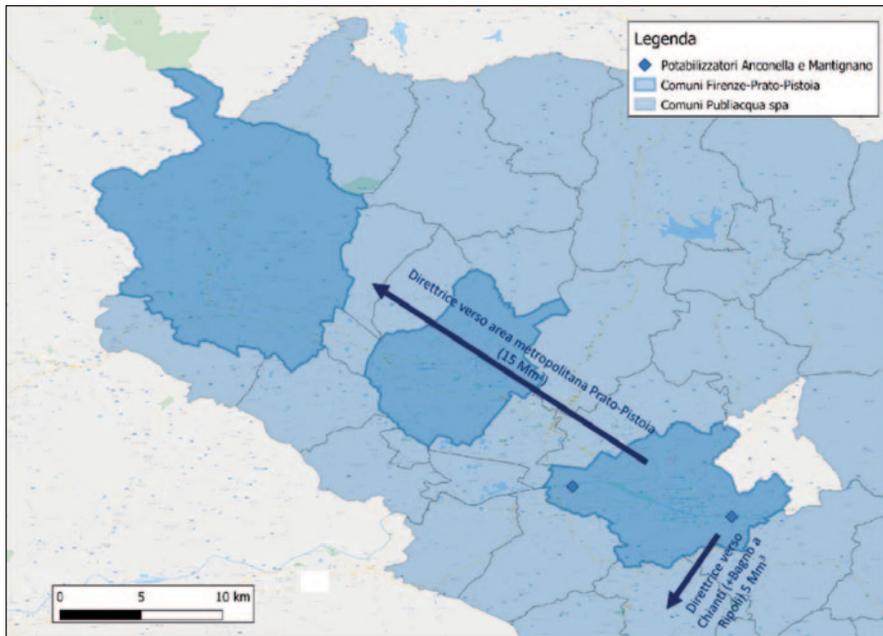


Figura 8: Aree al di fuori del comune di Firenze servite dagli impianti Anconella e Mantignano

5.1 GLI IMPIANTI DI POTABILIZZAZIONE

L'impianto Anconella (Figura 9) è il principale potabilizzatore del sistema con una portata media trattata pari a 2200 l/s e una portata nominale di 3100 l/s. La filiera impiantistica, descritta in Figura 10, è così composta: pre-trattamenti, pre-ossidazione (con biossido di cloro e/o ipoclorito di sodio), chiariflocculazione, ossidazione intermedia, filtrazione rapida su sabbia, filtrazione su carbone attivo granulare (GAC),

disinfezione finale. Il parametro che maggiormente influenza la filiera di trattamento è la torbidità. Tutta la prima parte dei trattamenti è volta, pertanto, alla sua rimozione. La chiariflocculazione ha l'obiettivo di formare aggregati fioccosi per la rimozione dei solidi sospesi sedimentabili e colloidali attraverso l'uso di coagulanti (policloruro di alluminio, dosaggio medio 60-70 ppm). La filtrazione su sabbia rappresenta la fase di "finissaggio" con una superficie filtrante complessiva di 3000 m². La rimozione dei composti disciolti avviene attraverso i filtri GAC (superficie filtrante complessiva di 1820 m²). Si tratta di composti di natura organica, come acidi umici e fulvici, e antropica, quali i pesticidi, presenti nelle acque superficiali a causa del dilavamento delle superfici del bacino imbrifero dell'Arno o della presenza di scarichi fognari a monte dell'opera di presa. L'elevata capacità di adsorbimento dei carboni attivi garantisce un ottimo baluardo di sicurezza per una vasta famiglia di composti permettendo il raggiungimento di elevate qualità dell'acqua in uscita. Lungo la filiera sono inoltre presenti più fasi di disinfezione finalizzate al controllo della carica batterica: pre-disinfezione a valle del sollevamento (prevalentemente con biossido di cloro), disinfezione intermedia a monte della filtrazione su sabbia (con biossido di cloro e ipoclorito di sodio), e post-disinfezione (con biossido di cloro), in due bacini di compenso finali allo scopo di mantenere un residuo in rete di 0.30-0.35 mg/l cloro residuo. L'impianto Anconella tratta complessivamente 70 Mm³/anno.

Collocato a valle dell'abitato cittadino, l'impianto Mantignano tratta una portata media di 350 l/s e ha una portata nominale di 750 l/s. La filiera di trattamento comprende: pre-trattamenti, pre-ossidazione (con biossido di cloro), chiariflocculazione, ossidazione intermedia, filtrazione rapida su sabbia (545 m² di superficie filtrante), ozonazione (utilizzata in caso di peggioramento della qualità dell'acqua grezza, specialmente nella stagione estiva), filtrazione GAC (360 m² di superficie filtrante), disinfezione finale. L'acqua grezza viene prelevata circa 6800 m a monte dell'impianto, in prossimità della pescaia di S. Rosa. La filiera comprende il trattamento a ozono per la disinfezione delle acque, la degradazione di microinquinanti tossici e l'incremento della biodegradabilità della sostanza organica (Figura 11). Presso l'impianto Mantignano sono in funzione 19 pozzi di captazione da falda per un emungimento complessivo di circa 100 l/s. La qualità di queste risorse è tale da non necessitare di nessun tipo di trattamento preliminare, la produzione sotterranea viene quindi inviata direttamente al bacino di accumulo per la disinfezione finale, insieme alle acque superficiali. Mantignano tratta complessivamente 15 Mm³/anno, di cui circa 3 Mm³ di origine sotterranea.

Il processo di potabilizzazione nei due impianti è supervisionato sia mediante strumentazione online che attraverso analisi periodiche effettuate dagli operatori in turno in ciascuna fase della filiera di trattamento. La strumentazione online è rappresentata da torbidimetri, clororesiduometri, analizzatori di alluminio disciolto, misuratori di potenziale Redox, conducimetri, pH-metri e termometri.

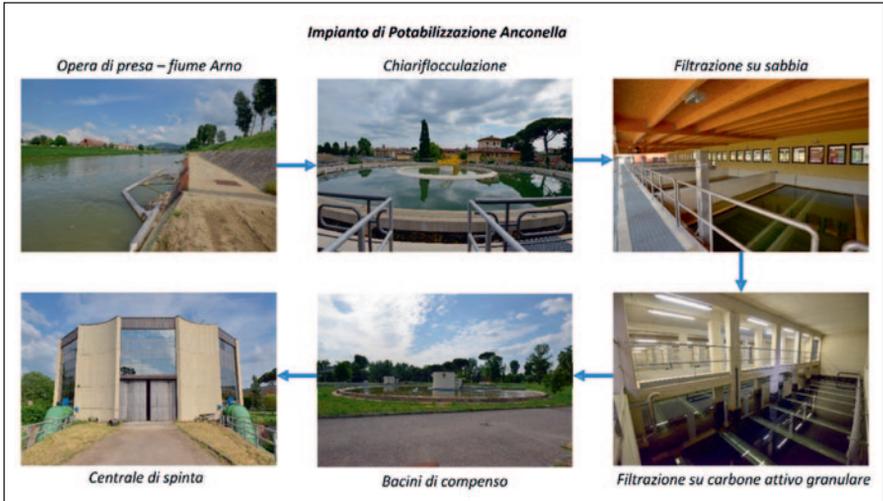


Figura 9: Sezioni di trattamento dell'impianto Anconella

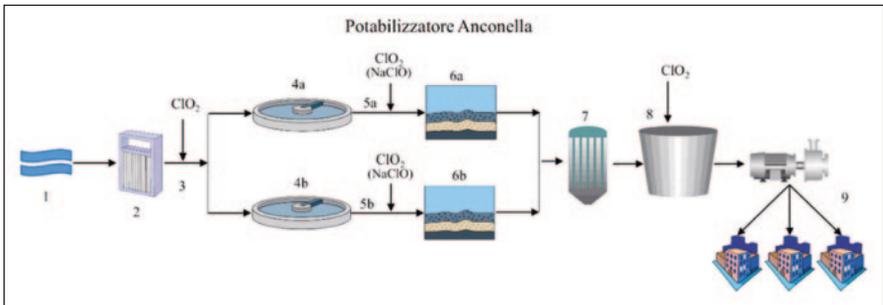


Figura 10: Impianto di potabilizzazione Anconella: 1) Opera di presa fiume Arno, 2) Pretrattamenti, 3) Pre-ossidazione, 4a) Chiariflocculazione (linea 1), 4b) Chiariflocculazione (linea 2), 5a) Ossidazione intermedia (linea 1), 5b) Ossidazione intermedia (linea 2), 6a) Filtrazione rapida su sabbia (linea 1), 6b) Filtrazione rapida su sabbia (linea 2), 7) Adsorbimento GAC, 8) Disinfezione finale, 9) Pompaggio e distribuzione

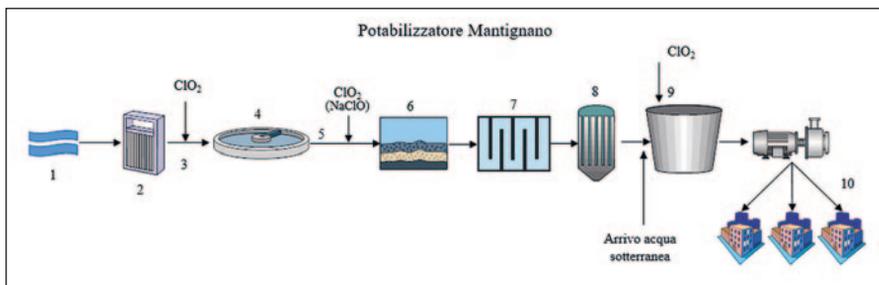


Figura 11: Impianto di potabilizzazione Mantignano: 1) Opera di presa fiume Arno, 2) Pretrattamenti, 3) Pre-ossidazione, 4) Chiariflocculazione, 5) Ossidazione intermedia, 6) Filtrazione rapida su sabbia, 7) Ozonazione, 8) Adsorbimento GAC, 9) Disinfezione finale, 10) Pompaggio e distribuzione

5.2 LA RETE DI DISTRIBUZIONE

L'acqua potabilizzata in uscita dagli impianti è direttamente pompata nel sistema di distribuzione per una lunghezza complessiva di circa 900 km. Il sistema acquedottistico del comune di Firenze può essere considerato come composto da un distretto cittadino, alimentato dagli impianti Anconella e Mantignano, e 14 distretti collinari (Figura 12) alimentati dal distretto cittadino mediante 20 sollevamenti e serbatoi. Il distretto cittadino è il sistema principale, afferente alla zona pianeggiante della città, i distretti collinari si trovano a Nord e a Sud della città stessa. I due principali materiali che costituiscono la rete di distribuzione sono la ghisa grigia (50.5%) e la ghisa sferoidale (41.5%). Le caratteristiche della rete sono descritte in Tabella 1. Il distretto cittadino conta 44000 utenze e circa 28 Mm³ l'anno erogati (87% del totale). I 14 distretti collinari contano circa 10000 utenze e 4 Mm³ erogati (13% del totale). Attraverso il modello matematico calibrato allo stato attuale, si può ottenere la distribuzione delle pressioni sull'intera rete comunale, sia di distribuzione che di adduzione (Figura 13). La pressione dell'area cittadina (3.7-3.0 bar) è legata a quella in uscita dagli impianti di pompaggio principali, Anconella e Mantignano, dato che non ci sono regolazioni di pressione che interessano questa porzione di rete. Per le reti collinari la pressione è data dalla quota del deposito che alimenta la rete e, molto spesso, anche dagli impianti di pompaggio che servono questi depositi. Data la configurazione della rete nelle zone collinari, con pompaggio di rilancio verso serbatoi in quota che alimentano porzioni di rete idraulicamente chiuse, gli acquedotti fiorentini collinari sono identificabili come

distretti naturali. La pressione di esercizio in questo caso non è omogenea all'interno di ogni distretto poiché le quote delle utenze facente parti di queste porzioni di rete variano anche di qualche decina di metri.

ZONA	DISTRETTO	RETE	UTENZE	VOLUME EROGATO
		(Km)	(n°)	(Mm ³ /y)
COLL	MASSONI	26.9	1188	0.745
COLL	CURE ALTE	14.3	1236	0.434
COLL	TACCA	2.6	98	0.066
COLL	S.CROCE AL PINO	20.3	790	0.413
COLL	ARCETRI	56.5	2749	0.987
COLL	SORGANE	18.7	1072	0.350
COLL	S.ANSANO	15.6	628	0.253
COLL	SETTIGNANO	15.4	518	0.207
COLL	GIULLARI	9.7	269	0.103
COLL	MARIGNOLLE	25.2	828	0.265
COLL	TRESPIANO	10.9	312	0.099
COLL	MONTEBENI	13.7	299	0.068
COLL	SERPIOLLE	1.0	18	0.003
COLL	CAPORNIA	2.2	23	0.008
CITTA'	FIRENZE CITTA'	671.7	44043	28
TOT	FIRENZE SISTEMA	905.2	54071	32

Ai fini della schematizzazione e per meglio comprendere il percorso dell'acqua all'interno della rete di distribuzione, il sistema è stato suddiviso in nodi e internodi ed è stato tracciato il diagramma di flusso, Figura 14. I nodi del sistema rappresentano i punti di interesse sanitario, ossia le infrastrutture oggetto di analisi di rischio puntuale (opere di captazione, impianti di potabilizzazione, serbatoi, sollevamenti). Gli internodi, invece, sono le tratte di rete di adduzione e distribuzione, ossia il sistema di condotte che collega i vari nodi tra loro comprensivo della rete di distribuzione. In ciascuno dei

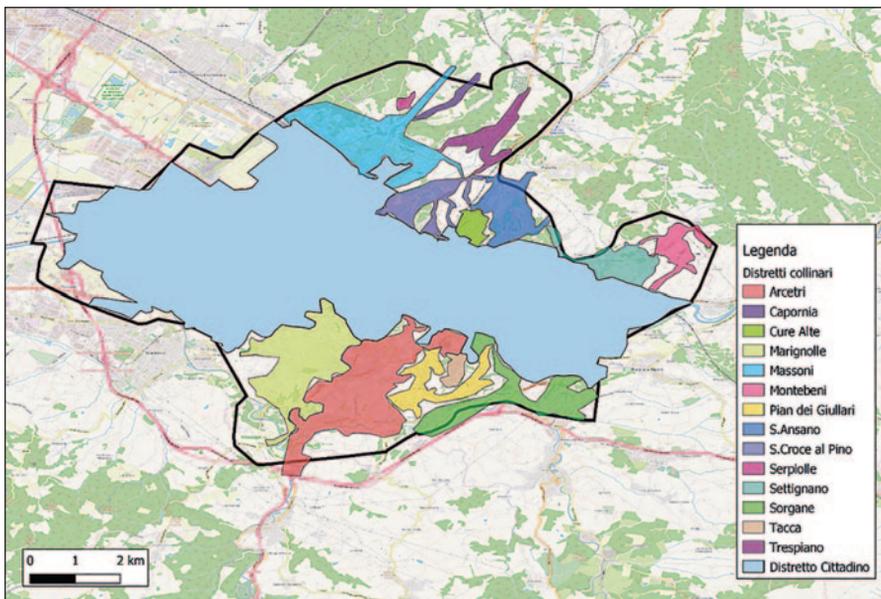


Figura 12: Rappresentazione dei distretti idrici del sistema acquedottistico del comune di Firenze

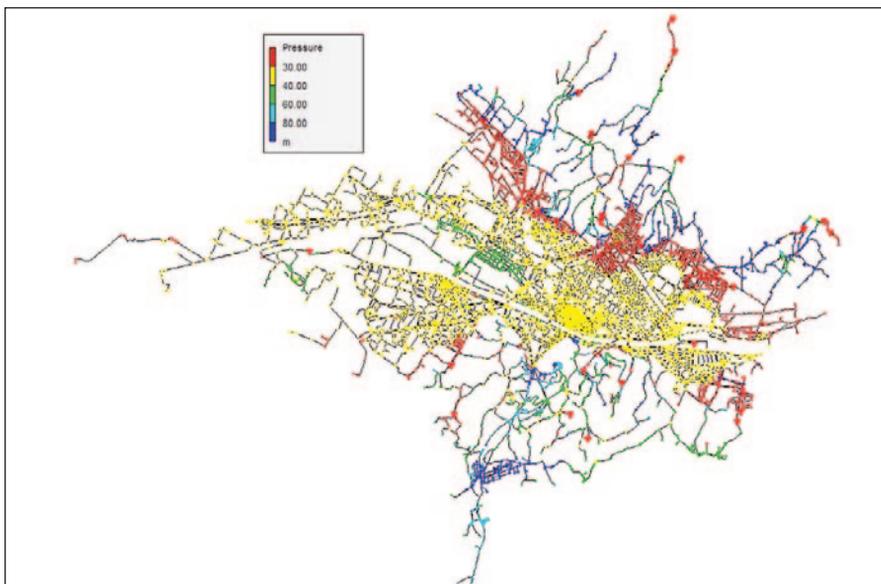


Figura 13: Rappresentazione dei distretti idrici del sistema acquedottistico del comune di Firenze

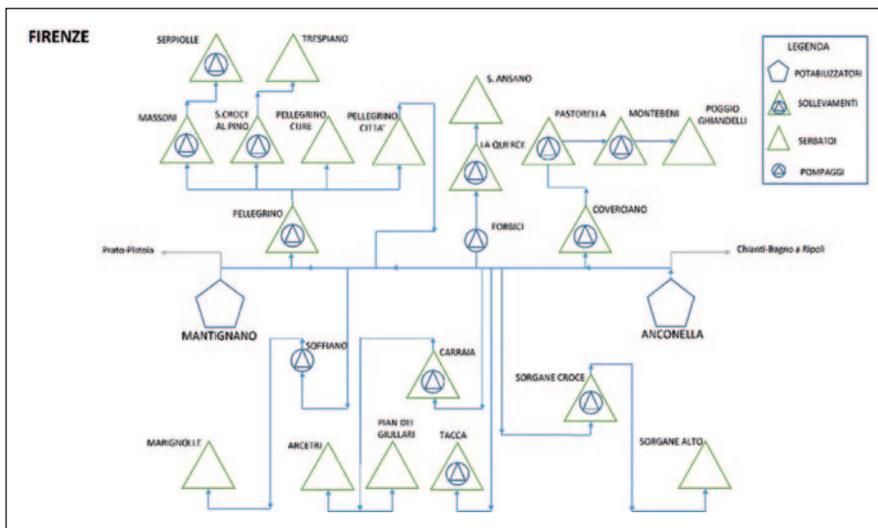


Figura 14: Schema di flusso del sistema acquedottistico del comune di Firenze

	Nome Accumulo: MOOD e SOIL PELLEGRINO	Indirizzo Accumulo: Via P.le della 24	
	Codice identificativo:	Tipologia accumulo: <input type="checkbox"/> interrato <input type="checkbox"/> seminterrato <input type="checkbox"/> fuori terra <input type="checkbox"/> canale	
Area in comune con:		Codice identificativo dell'area in comune:	
Fase documentale preliminare:		<input type="checkbox"/> scheda impianto, idraulico e funzionale <input type="checkbox"/> verifiche ispettive precedenti <input type="checkbox"/> stati di esercizio <input type="checkbox"/> valori analitici (trend storici) <input type="checkbox"/> Programma di manutenzione <input type="checkbox"/> procedure per l'accesso (procedura per arbori continui...)	
Condente carico / emissione in rete		Subazione unica	

Impianto Anconella

Decantatore - Impianto Anconella

Diga di presa - Impianto Anconella

Figura 15: Esempio di check-list e foto di alcuni sopralluoghi

nodi identificati, sono state effettuate delle ispezioni e compilate opportune *check-list* a supporto della successiva analisi di rischio, Figura 15.

Come si evince facilmente dallo schema di flusso, la rete di distribuzione è suddivisibile in due parti, una a nord dei due impianti, prevalentemente alimentata tramite il serbatoio del Pellegrino (19300 m³) e, nella zona est, dal serbatoio di Coverciano (950 m³), l'altra a sud, prevalentemente servita dal serbatoio Carraia (13440 m³). Inoltre, parte del volume prodotto dai due potabilizzatori, serve le zone di Prato-Pistoia e del Chianti, al di fuori dei confini comunali.

5.3 AREE DI COMPETENZA DEI POTABILIZZATORI

Nel monitoraggio delle qualità delle acque Publicqua ha suddiviso il territorio servito in zone geograficamente definite all'interno delle quali la qualità dell'acqua può essere considerata sostanzialmente uniforme. Ciò costituisce un elemento essenziale per la valutazione corretta della qualità delle acque in un'area così fortemente distribuita e che utilizza molteplici risorse.

Tali zone hanno quindi rappresentato il confine di riferimento entro cui applicare il PSA. Come già evidenziato, nel caso del comune di Firenze sono presenti due zone

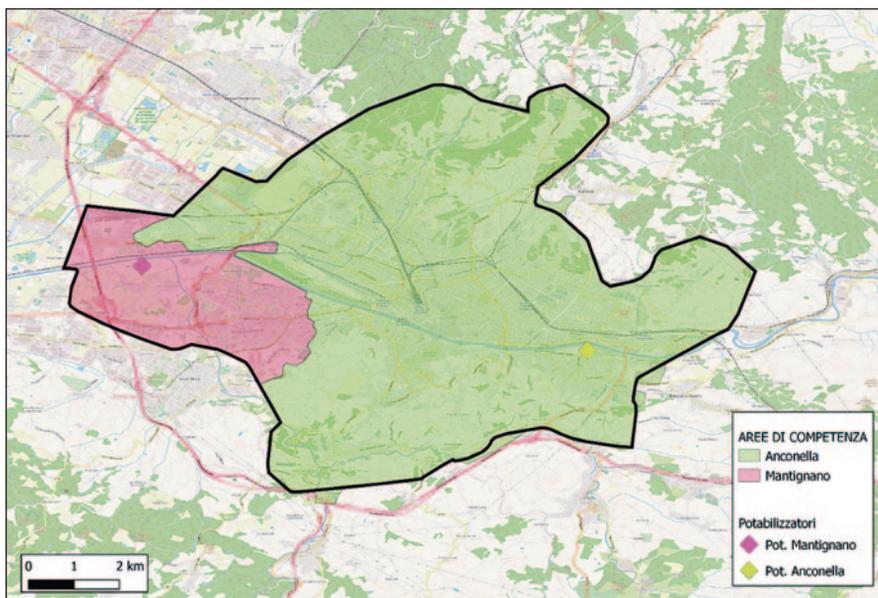


Figura 16: Aree di competenza dei due potabilizzatori Anconella e Mantignano

di approvvigionamento cui corrispondono i due impianti di potabilizzazione, Anconella e Mantignano. Per la delimitazione è stata condotta una simulazione idraulica della rete acquedottistica, simulando la dispersione di un tracciante non reattivo nella rete a partire dai potabilizzatori Anconella e Mantignano. Dai risultati in Figura 16 emerge che l'impianto Anconella è responsabile dell'alimentazione di tutti i distretti collinari e di gran parte del distretto cittadino, mentre l'impianto Mantignano serve l'area in prossimità dell'impianto stesso per un raggio di circa 2-3 km. Pertanto, un evento pericoloso che causasse un problema di qualità dell'acqua prodotta dall'impianto Anconella si riverbererebbe su quasi tutto il comune di Firenze. Lo stesso varrebbe a maggiore ragione nel caso di interruzioni di servizio. Tali informazioni sono di estrema importanza ai fini della redazione del PSA, soprattutto in presenza di sistemi acquedottistici alimentati da molteplici fonti, sia per predire l'origine dell'acqua in un determinato punto della rete, che per determinare il grado di miscelazione a partire dalle diverse fonti che, come noto, può causare un deterioramento della qualità complessiva.

6. ANALISI DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE

6.1 ANALISI DELL'ACQUA GREZZA

La qualità dell'acqua prodotta dipende dalla sua naturale composizione alla fonte e dalla tipologia di trattamento. Come detto in precedenza, la principale fonte di approvvigionamento per entrambi i potabilizzatori è rappresentata dal fiume Arno. A questa si somma, nel solo caso di Mantignano, quella da acqua sotterranea, per circa il 20% del volume complessivo. A monte delle opere di presa superficiali, il fiume Arno è classificato, ai sensi del D.Lgs. 153/06, in categoria sub A3 e, pertanto, ai fini della potabilizzazione, richiede la filiera di trattamento più complessa: "trattamento fisico e chimico spinto, affinazione e disinfezione".

Nella Tabella 2 si riporta una sintesi statistica dei principali parametri chimici, fisici e microbiologici per ciascuna fonte. La qualità dell'acqua sotterranea appare significativamente migliore, dal momento che è caratterizzata da basse torbidità e inferiore carica microbica e necessita, pertanto, del solo processo di disinfezione, mentre le acque superficiali sono caratterizzate dalla presenza di un elevato inquinamento sia chimico che microbiologico.

L'estrema variabilità delle caratteristiche di qualità dell'acqua superficiale (come rappresentato in Figura 17 per l'impianto Anconella) si caratterizza soprattutto per:

- Torbidità: i valori possono variare da circa 10 NTU fino a oltre 1000 NTU. Tale variabilità richiede particolare attenzione ai processi di separazione solido-liquido e sul dosaggio del flocculante. La torbidità, infatti, può ridurre l'efficacia dei processi di disinfezione aumentando la cloro-richiiesta (AWWA, 1999). Per tale ragione, i processi di rimozione presso i due potabilizzatori risultano piuttosto spinti;
- Temperatura: variabile da 2 °C a oltre 30 °C. Anche in questo caso, necessaria attenzione sui processi di separazione solido/liquido e disinfezione;
- Inquinanti: sia di origine naturale sia dovuti alla forte antropizzazione del territorio. Tra questi si rileva la presenza nelle acque grezze di antiparassitari, in particolare Glifosato e AMPA, con picchi superiori a 1 µg/l. Per il processo di potabilizzazione

Parametro	U.M.	Acqua grezza Anconella		Acqua grezza Mantignano		Acqua grezza Pozzi Mantignano	
		MEDIA	STD	MEDIA	STD	MEDIA	STD
Alcalinità	mg/l HCO ₃ ⁻	257	181	289	191	514	141
Alluminio	µg/l	542	1148	386	847	42	214
Ammonio	mg/l	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.06
AMPA	µg/l	0.89	0.33	0.76	0.2	-	-
Antiparassitari totali	µg/l	0.2	0.35	0.18	0.31	-	-
Batteri coliformi 73°C	MPN/100ml	7243	11067	6021	13015	4	8
Bromuro	µg/l	0.04	0.04	0.04	0.03	0.13	0.07
Calcio	mg/l	60.2	14.1	59.3	12.6	148	19
Conducibilità elettrica	µS/cm	445.0	76.5	451.3	74.3	978	102
Durezza totale	°F	20	3.6	20	3.4	47	5.8
<i>Escherichia coli</i>	MPN/100ml	879	3230	637	1758	0	0.11
<i>Enterococchi</i>	MPN/100ml	275	539	241	829	0.2	1.8
Ferro	µg/l	308	463	301	386	76	287
Glifosato	µg/l	0.05	0.03	0.05	0.04	-	-
Magnesio	mg/l	12.0	1.7	12.4	1.7	24.0	3.1
Manganese	µg/l	53	42	56.5	48.0	43.0	183.4
Nitrati	mg/l	4.8	2.6	4.3	2.2	15.7	6.4
Carbonio organico totale	mg/l	3.0	1.4	3.0	0.9	0.6	0.2
pH	Unità pH	8.0	0.3	8.0	0.3	7.0	0.1
Residuo secco 180°C	mg/l	319	53	324	52	731	83
Tetracloroetilene+ Tricloroetilene	µg/l	< 1	0	< 1	0	3.7	6.3
Torbidità	NTU	28	93	21	47	1	3.5

Tabella 2: Sintesi statistica delle caratteristiche qualitative dell'acqua grezza

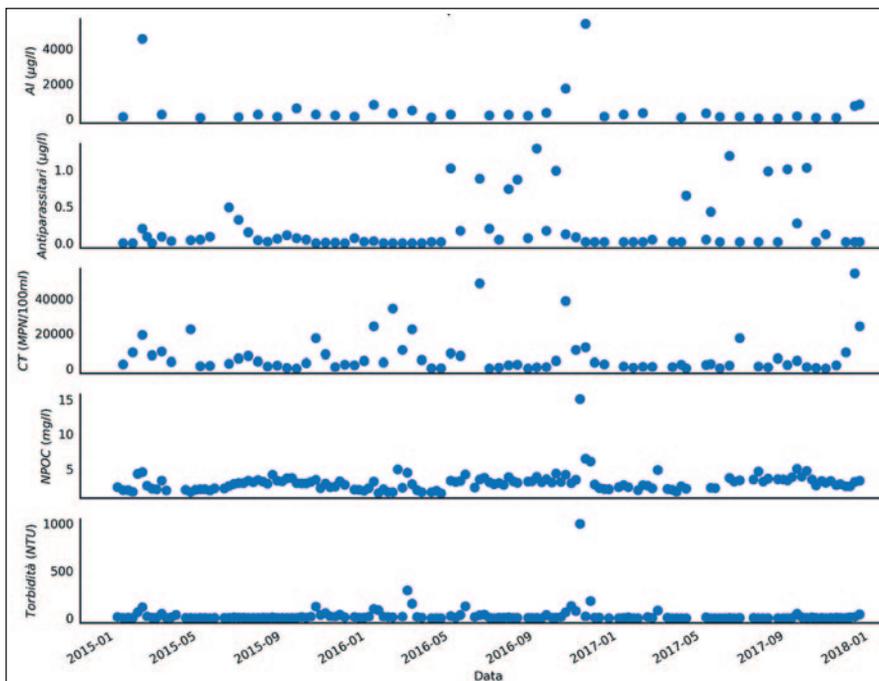


Figura 17: Andamento di alcuni parametri caratterizzanti la qualità dell'acqua superficiale; Al: alluminio, CT: Batteri coliformi 37°C, NPOC: Carbonio organico totale

assume quindi rilevanza la fase di adsorbimento (filtri GAC) che limita anche la formazione dei sottoprodotti.

- Contaminazione biologica: si rileva una contaminazione biologica significativa dell'acqua grezza. Pertanto, per assicurare la sicurezza microbiologica delle acque potabilizzate di cruciale importanza è l'approccio a barriere multiple (multiple disinfezioni e filtrazione su sabbia).

Dato l'elevato numero di parametri e la presenza di tre punti di approvvigionamento, è stata applicata un'analisi delle componenti principali (PCA) ai dati dell'acqua grezza superficiale e sotterranea in ingresso ai potabilizzatori al fine di estrarre informazioni utili sulle caratteristiche di qualità ed evidenziare le differenze tra le varie fonti. I parametri considerati nella PCA sono: Alcalinità (TA, mg/l HCO_3^-), Ammonio (NH_4 , mg/l), Bromuro (Br, $\mu\text{g/l}$), Calcio (Ca, mg/l), Conducibilità elettrica (EC, $\mu\text{S/cm}$), Durezza totale (TH, °F),

Ferro (Fe, $\mu\text{g/l}$), Magnesio (Mg, mg/l), Manganese (Mn, $\mu\text{g/l}$), Nitrati (NO_3 , mg/l), Carbonio organico totale (NPOC, mg/l C), pH, Residuo secco 180°C (RS, mg/l), Tricloroetilene+Tetracloroetilene (TCE+PCE, $\mu\text{g/l}$). I dati si riferiscono al triennio 2015-2017.

L'analisi delle componenti principali è una potente tecnica di analisi statistica che fornisce informazioni sul contenuto e sulla struttura "latente" del data-set. Essa trasforma un ampio range di variabili (potenzialmente) correlate, in un numero limitato di variabili linearmente indipendenti (componenti principali, PC) che spiegano la massima varianza del data-set originale. I dati vengono proiettati nel nuovo sistema di riferimento evidenziando eventuali cluster. Il peso di ciascuna variabile nelle singole PC consente di individuare le variabili maggiormente significative nonché le correlazioni esistenti.

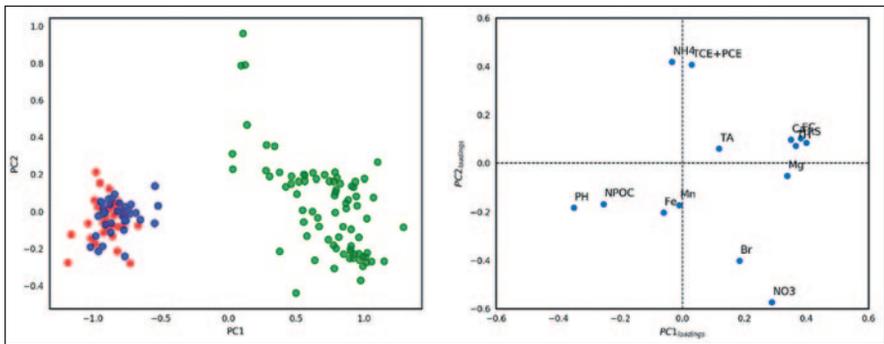


Figura 18: Risultati della PCA alle acque grezze: PCA score plot (a sinistra); PCA loading plot (a destra). In rosso i punti relativi all'acqua superficiale dell'Anconella, in blu i punti relativi all'acqua superficiale di Mantignano, in verde i punti relativi al campo pozzi Mantignano

La Figura 18 riporta i risultati della PCA alle acque grezze. Le prime due PC spiegano l'82% della varianza complessiva (PC_1 spiega il 77%, la PC_2 il 5%), pertanto risultano sufficienti solo due PC per caratterizzare il data-set originale.

Lo *score plot* (grafico a sinistra in Figura 18) riporta i dati "proiettati" nel nuovo sistema di riferimento; sono distinguibili due cluster, il primo formato dai punti verdi (acqua sotterranea), il secondo dai punti blu e rossi (rispettivamente acqua superficiale in ingresso all'impianto Mantignano e Anconella). È evidente come non vi sia alcuna differenza nelle caratteristiche dell'acqua superficiale in ingresso ai due potabilizzatori, risultato prevedibile, dal momento che si tratta della medesima risorsa idrica, mentre l'acqua sotterranea presenta caratteristiche marcatamente differenti. Il

loading plot (grafico a destra in Figura 18), riporta i pesi (*loadings*) di ciascuna variabile nelle due PC. La prima PC è dominata prevalentemente da RS, EC, TH, Ca, Mg (pesi positivi) e pH, NPOC (pesi negativi), pertanto essa rappresenta il contenuto salino delle acque, il pH e il contenuto organico, mentre la seconda PC è dominata da NH₄, TCE+PCE (pesi positivi) e Br, NO₃ (pesi negativi). Accoppiando le informazioni dei due grafici è possibile affermare che le acque superficiali sono caratterizzate da un maggior contenuto organico, maggiori pH, inferiore contenuto salino e nitrati rispetto alle acque sotterranee. Queste ultime presentano inoltre valori superiori di TCE+PCE e NH₄ in alcuni dei campioni analizzati.

6.2 ANALISI DELL'ACQUA EROGATA

In Tabella 3 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard dei principali parametri caratterizzanti la qualità dell'acqua in uscita dai due potabilizzatori ed erogata in rete.

Le acque potabilizzate sono caratterizzate da basse torbidità (0.22 e 0.24 NTU), contaminazione microbiologica assente e sottoprodotti della disinfezione ben al di sotto dei limiti di legge. Inoltre, nonostante la presenza di antiparassitari, in concentrazioni talvolta superiori ai limiti, nelle acque grezze superficiali, la filtrazione GAC consente di raggiungere un elevato grado di rimozione con concentrazioni costantemente inferiori al limite di quantificazione.

Anche in questo caso è stata eseguita una PCA alle acque trattate rispettivamente dai due potabilizzatori ed erogate in rete al fine di evidenziare le differenze tra l'acqua prodotta dai due impianti e "l'evoluzione" delle sue caratteristiche all'interno della rete di distribuzione. Com'è noto, infatti, all'interno delle reti, a causa dei tempi di residenza e dello stato delle infrastrutture, la qualità dell'acqua può progressivamente ridursi e causare non conformità. I parametri considerati nella PCA sono: Alluminio (Al, µg/l), Bromuro (Br, mg/l), Clorato (ClO₃, mg/l), Clorito (ClO₂, mg/l), Cloruro (Cl, mg/l), Cloro residuo libero (Cl_{2res}, mg/l), Conduttività elettrica (EC, µS/cm), Nitrati (NO₃, mg/l), Carbonio organico totale (NPOC, mg/l), pH (PH), Solfato (SO₄, mg/l), Trialometani totale (THM, µg/l), Torbidità (Turb, NTU).

Parametro	U.M.	Acqua potabilizzata Anconella		Acqua potabilizzata Mantignano		Rete di distribuzione		Limite di legge (D.Lgs. 31/01)
		MEDIA	STD	MEDIA	STD	MEDIA	STD	
Torbidità	NTU	0.22	0.09	0.24	0.11	0.30	0.23	1 ^a
Carbonio organico totale	mg/l	1.5	0.4	1.7	0.4	1.57	0.51	
Alghe	n/ml	32	51	66	213	-	-	
Antiparassitari totali	µg/l	<0.03	0.0	<0.03	0.0	-	-	0.5
Glifosato	µg/l	<0.02	0.0	<0.02	0.0	-	-	0.1
AMPA	µg/l	<0.02	0.0	<0.02	0.0	-	-	0.1
Batteri coliformi 37°C	MPN/100ml	0	0	0	0	0	1	0
<i>Escherichia coli</i>	MPN/100ml	0	0	0	0	0	0	0
<i>Enterococchi</i>	MPN/100ml	0	0	0	0	0	0	0
<i>Clostridium perfringens</i> (spore comprese)	UFC/100 ml	0	0	0	0	0	0	0
Alluminio	µg/l	95	34	82	38	81	63	200
Ferro	µg/l	5	6	7	6	22	40	200
Manganese	µg/l	<2	1.8	3	3	4	6	50
Triometani totale	µg/l	15	4	12	5	14	5	30
Tetracloroetilene + trielina	µg/l	<1	0	<1	0.4	<1	0	10
Clorito	µg/l	257	65	337	114	343	103	700
Clorato	µg/l	210	141	335	209	322	182	
Cloro residuo libero	mg/l	0.30	0.03	0.25	0.05	0.18	0.08	0.2 ^b
^a per acque potabilizzate		^b valore consigliato						

Tabella 3: Valori medi dei principali parametri caratterizzanti l'acqua potabilizzata e distribuita con indicazione del limite legislativo

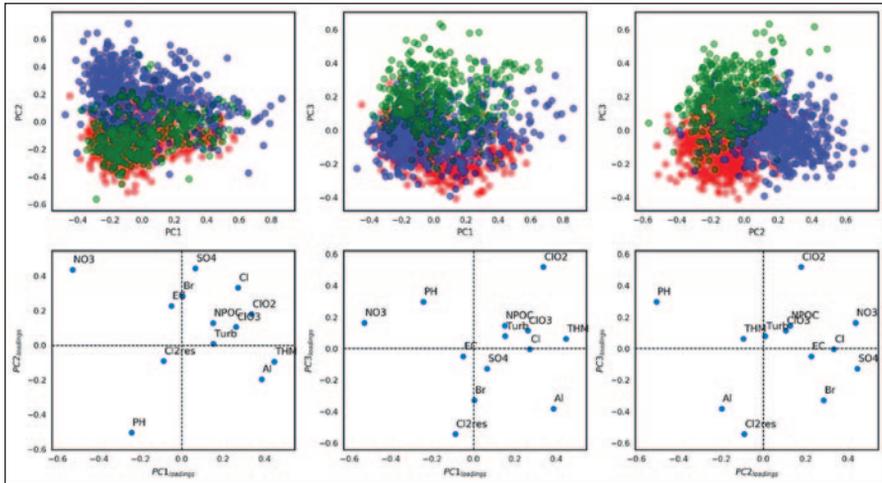


Figura 19: Risultati della PCA alle acque potabilizzate e distribuite: i grafici in alto rappresentano gli score plot; i grafici in basso i loadings plot. In rosso i punti Anconella, in blu i punti Mantignano, in verde i punti della rete di distribuzione

La Figura 19 riporta i risultati della PCA alle acque potabilizzate ed erogate in rete. Le prime tre PC spiegano il 55% della varianza complessiva (PC_1 spiega il 22%, la PC_2 il 20%, la PC_3 il 13%), pertanto è evidente come le variabili siano scarsamente correlate tra loro e sia necessario un maggior numero di PC per caratterizzare il data-set.

Nel grafico a) in Figura 19 i punti rossi (Anconella) e verdi (rete) sono pressoché sovrapposti, mentre i punti blu (Mantignano) sono spostati verso l'alto. Ciò è indice del fatto che l'impianto Anconella serve gran parte della rete fiorentina e, pertanto, la qualità dell'acqua in rete dipende maggiormente da quella in uscita dall'Anconella. Dal grafico b) si evince chiaramente l'evoluzione del cloro residuo e dei sottoprodotti della disinfezione (soprattutto il clorito): l'impianto Anconella presenta valori inferiori di cloro residuo e maggiori di cloro residuo libero, Mantignano presenta valori inferiori di cloro residuo libero rispetto all'Anconella, mentre in rete diminuisce il cloro residuo e aumenta il clorito. Nel grafico c) si distinguono meglio i tre raggruppamenti di dati. Mantignano è spostato verso la zona a maggiori cloruri, nitrati e conducibilità elettrica (a causa dell'influenza dell'acqua sotterranea); Anconella si trova nella zona a maggiore cloro residuo libero

e alluminio e inferiore clorato, clorito e NPOC; la rete è collocata nella zona a maggiore clorito e inferiore cloro residuo libero.

Pertanto, dai risultati dell'analisi dei dati qualitativi emerge l'elevata efficienza di trattamento dei due potabilizzatori, in grado di trattare efficacemente una risorsa idrica caratterizzata da scarsa qualità e elevato inquinamento.

Sui campioni per il controllo della qualità dell'acqua prelevati giornalmente in uscita agli impianti di potabilizzazione, in corrispondenza dei serbatoi e dei punti di monitoraggio presenti nel territorio, potrebbero emergere valori superiori ai limiti stabiliti dal D.Lgs. 31/01 e sue modificazioni ed integrazioni. Per affrontare tali eventi è prevista una procedura che prevede la valutazione del tipo di non conformità, l'analisi dei dati relativi alla conduzione di impianti e reti e dei dati del telecontrollo per individuarne le cause e definire gli interventi correttivi immediati. Nei casi in cui gli approfondimenti effettuati portino a concludere che la non conformità sia dovuta ad un evento transiente o limitato al punto di prelievo si procede al ricampionamento di verifica. L'evento è considerato concluso a fronte del risultato conforme del campione prelevato a seguito dell'eventuale azione correttiva.

L'analisi dei dati relativi alle non conformità rappresenta un importante elemento in ingresso alla valutazione del rischio: a tal fine, nel corso del lavoro, sono stati analizzati i dati del triennio 2015-2017.

La verifica effettuata sui dati di periodo conferma, innanzitutto, come la qualità dell'acqua in uscita ed erogata sia piuttosto elevata, tanto che la percentuale di parametri conformi, sull'intero territorio di Firenze, si attesta intorno al 99,90%. Le non conformità rilevate interessano prevalentemente i cosiddetti parametri indicatori, contenuti nell'Allegato I Parte C del D.Lgs. 31/01, che non comportano effetti sanitari diretti ma che rappresentano indicatori di efficienza di trattamento e integrità della rete di distribuzione.

Ciò detto, dall'analisi emerge che, in uscita ai due impianti di potabilizzazione, i parametri maggiormente critici risultano l'alluminio, a causa degli additivi chimici utilizzati nel processo di chiariflocculazione, e, solo per quanto riguarda l'impianto Mantignano, i sottoprodotti della disinfezione (THM e clorito). Sporadiche non conformità a bassissime conte hanno interessato alcuni parametri microbiologici. Per quanto riguarda invece i serbatoi di accumulo e la rete di distribuzione, le principali non conformità riguardano

i sottoprodotti della disinfezione (THM e clorito). Si rilevano infine sporadici superamenti microbiologici (Batteri coliformi a 37°C) e della torbidità relativi a situazioni transienti e/o limitate al punto di prelievo.

6.3 ANALISI DEI RECLAMI DELL'UTENZA

Al fine di valutare il grado di soddisfacimento del servizio da parte dei consumatori, sono stati considerati e analizzati i reclami dell'utenza per problemi di odore, sapore e colore dell'acqua che, nel biennio 2016-2017, hanno interessato lo 0,07%, per un totale di circa 400 reclami (Figura 20). La maggior parte dei reclami vertono su problematiche inerenti acqua sporca/torbida (colore) (38%), seguono i problemi di odore (24%) e odore+colore (33%), mentre il restante 20% è relativo a problemi di sapore.

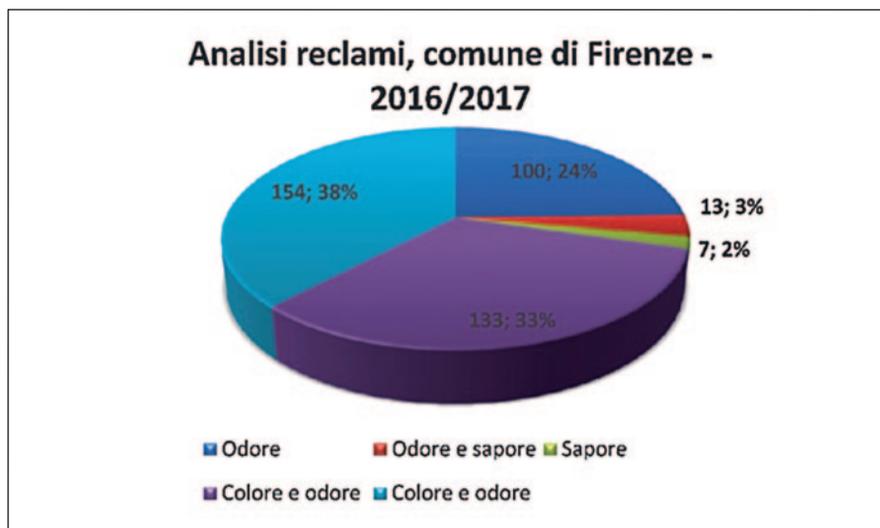


Figura 20: Analisi reclami sulla qualità dell'acqua

Il numero e la tipologia di reclami rappresentano un utile indicatore per la valutazione della qualità del servizio, per quantificare la soddisfazione del cittadino, e per la determinazione dell'efficacia del PSA. Pertanto, saranno continuo oggetto di analisi e monitoraggio.

7. ANALISI DI RISCHIO

7.1 IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI E DEGLI EVENTI PERICOLOSI

In questa fase il team ha identificato e analizzato gli eventi pericolosi e i pericoli ad essi correlati che potrebbero verificarsi in ciascuna fase della filiera, dalla captazione all'utente finale. Un evento pericoloso è un incidente o una situazione che può portare al verificarsi di un pericolo. Un pericolo è qualsiasi agente chimico, fisico, biologico che ha il potenziale di causare un danno alla salute dell'uomo. I pericoli considerati nell'analisi sono di natura chimica, microbiologica, fisica e di interruzione del servizio. Seguendo le linee guida dell'OMS, è stato adottato un approccio semi-quantitativo per il calcolo del rischio che prevede l'impiego di una matrice. Il rischio è determinato come prodotto della probabilità (P) di accadimento di un evento avverso e della gravità (G) delle conseguenze ad esso associate. I punteggi di P e G sono stati attribuiti secondo la Tabella 5 e il rischio è stato valutato come riportato in Tabella 6.

Probabilità (P) - Livello	Gravità (G) - Livello
1. Raro: ogni 5 anni	1. Irrisorio o senza impatto
2. Poco probabile: ogni anno	2. Impatti relativi a NC ⁽¹⁾ minori (parametri indicatori)
3. Moderato: ogni mese	3. Impatti relativi a NC ⁽¹⁾ minori (parametri organolettici)
4. Probabile: ogni settimana	4. Impatti relativi a NC ⁽¹⁾ rilevanti (parametri chimici e microbiologici)
5. Quasi certo: ogni giorno	5. Impatti relativi a NC ⁽¹⁾ rilevanti (cancerogeni e patogeni)
⁽¹⁾ NC: Non conformità al D.lgs. 31/01	

Tabella 5: Attribuzione dei punteggi alla probabilità (P) di un evento e alla gravità (G) delle conseguenze

		Gravità				
		1	2	3	4	5
Probabilità	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
Punteggio di Rischio		< 6	6 – 9	10 – 15	> 15	
Classe di rischio		Basso	Medio	Alto	Molto alto	

Tabella 6: Approccio semi-quantitativo per il calcolo del rischio (adattato da WHO, 2009b)

In questa fase il team ha preso in considerazione anche eventi pericolosi non prontamente evidenti, ha ispezionato i siti e le infrastrutture in esame e valutato tutti gli eventi passati interrogando gli operatori con più anzianità ed esperienza. Il controllo visivo, la documentazione fotografica e le esperienze pregresse hanno permesso di rivelare situazioni di pericolo altrimenti difficili da individuare. In particolare, Publiacqua, sotto la supervisione di ISS e dell'Università di Firenze, ha implementato una prima versione di matrice di rischio con l'identificazione degli eventi pericolosi e dei punteggi P e G. Successivamente, la bozza è stata condivisa e discussa all'interno del team multidisciplinare che ha apportato nuovi spunti e considerazioni. Gli eventi pericolosi affrontati vanno da eventi estremi naturali (terremoti, siccità prolungate), a fenomeni connessi alle attività antropiche (inquinamento fisico/chimico/batteriologico), da malfunzionamenti del sistema di captazione, potabilizzazione o distribuzione (mancanza alimentazione elettrica, blocco degli impianti, atti vandalici) a errori gestionali (errato dosaggio dei disinfettanti, contaminazione durante interventi sulla rete, presenza eccessiva di sottoprodotti della disinfezione).

Di seguito si riportano alcuni eventi pericolosi analizzati con i relativi pericoli associati, per le fasi di captazione, trattamento, accumulo e distribuzione.

FASE	Evento pericoloso	Pericolo associato
CAPTAZIONE	Contaminazione dell'acqua da attività industriali, scarichi illeciti, dilavamento, incidenti stradali, etc.	Pericoli chimici e microbiologici dell'acqua grezza
	Intasamento griglie	Ridotto apporto di acqua al potabilizzatore
	Inquinamento chimico e batteriologico dell'acqua del fiume Arno da composti emergenti (CECs) e virus, protozoi, etc.	Pericoli chimici e microbiologici dell'acqua grezza
	Bloom algale	Pericolo microbiologico per possibile presenza di cianobatteri
	Insufficiente disponibilità della risorsa	Ridotto apporto di acqua al potabilizzatore
TRATTAMENTO	Blocco/malfunzionamento delle pompe di sollevamento	Interruzione temporanea del servizio
	Accesso di personale non autorizzato nei locali interni all'impianto	Possibile contaminazione chimica e/o microbiologica e interruzione del servizio
	Mancata alimentazione elettrica	Interruzione del servizio
	Malfunzionamento dei trattamenti	Immissione in rete di acqua non adeguatamente trattata (possibile contaminazione chimica, fisica e microbiologica)
ACCUMULO	Atti vandalici	Interruzione del servizio, possibile contaminazione chimica, fisica e microbiologica
	Presenza di possibili punti di infiltrazione di animali e cose nelle vasche	Possibile contaminazione microbiologica
	Sedimentazione di materiale sul fondo delle vasche	Possibile contaminazione chimica e microbiologica

segue ►►

FASE	Evento pericoloso	Pericolo associato
DISTRIBUZIONE	Contaminazione durante interventi sulla rete di distribuzione	Possibile contaminazione chimica, fisica e microbiologica
	Manovre idrauliche repentine o inversioni di flusso	Possibile contaminazione chimica, fisica e microbiologica dovuta alla sospensione di sedimenti e dissoluzione di biofilm
	Cessioni di elementi dai materiali che costituiscono le condotte	Possibile contaminazione chimica da piombo
	Scarsa cloro copertura nelle condotte	Possibile contaminazione microbiologica

Tabella 7: Esempi di pericoli ed eventi pericolosi analizzati

7.2 DEFINIZIONE DELLE MISURE DI CONTROLLO E MONITORAGGIO

Una volta determinato il rischio, nella fase successiva sono state esaminate le modalità operative e le procedure adottate per gestirlo. Il rischio è stato valutato in due step distinti: prima e dopo l'identificazione delle misure di controllo esistenti al fine di determinarne l'efficacia nei confronti dell'abbattimento del rischio stesso. Le misure di controllo rappresentano tutte le azioni compiute dai tecnici, le tecnologie e i trattamenti che servono a mitigare il rischio di contaminazione dell'acqua. Le principali misure di controllo attualmente in campo sono riportate nella Figura 21 per ciascuna fase della filiera idrica e riguardano le procedure di gestione e trattamento, i piani di conduzione e manutenzione, la gestione degli allarmi e il funzionamento del telecontrollo.

A seguito della identificazione delle misure di controllo esistenti il rischio è stato nuovamente rivalutato. Laddove il rischio è risultato non basso (ossia ≥ 6) anche a seguito della valutazione delle misure di controllo esistenti, sono state identificate delle opportune azioni correttive volte al suo contenimento. A tal fine, è stato elaborato un piano di miglioramento con definizione delle tempistiche e delle responsabilità. Ciascuna azione è stata e sarà implementata secondo strategie di breve, medio e lungo periodo.

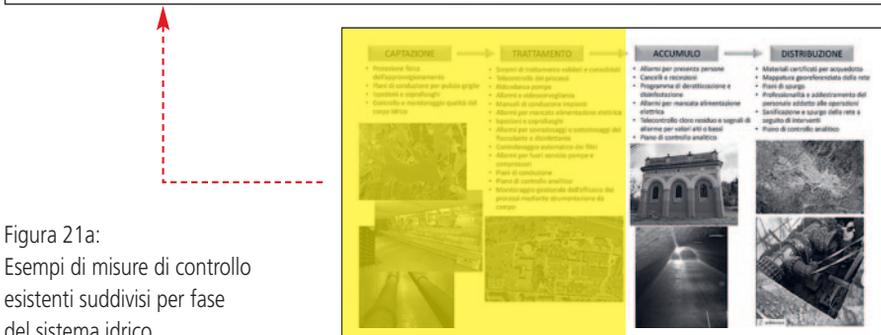
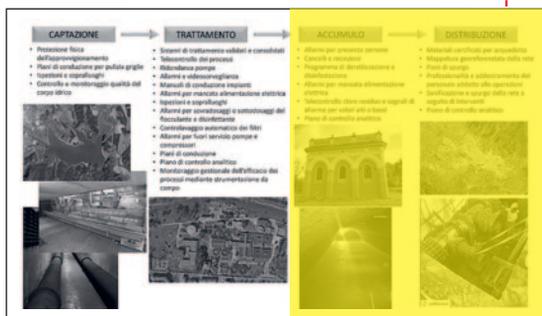


Figura 21a:
Esempi di misure di controllo esistenti suddivisi per fase del sistema idrico



Figura 21b:
Esempi di misure di controllo esistenti suddivisi per fase del sistema idrico



7.3 MATRICE DI RISCHIO E PIANO DI MIGLIORAMENTO

Il team si è riunito complessivamente 12 volte in due anni (2018-2019) e la matrice di rischio è stata rivista e modificata due volte prima dell'approvazione da parte di tutti i componenti. Sono stati identificati oltre 70 eventi pericolosi e 110 conseguenti pericoli (24% alla captazione, 44% agli impianti di trattamento, 12% alle opere di accumulo, 20% alla distribuzione). Considerando il numero complessivo dei nodi (3 opere di presa, 2 potabilizzatori, 20 serbatoi/sollevamenti) e degli internodi (15 distretti idrici) ne risulta una matrice di rischio di oltre 450 righe. I principali eventi pericolosi riguardano:

- 1) episodi di contaminazione delle acque grezze, sovradosaggio o dosaggio insufficiente del flocculante o del disinfettante;
- 2) interruzioni temporanee del servizio per mancanza di alimentazione elettrica;
- 3) episodi di vandalismo ed effrazioni;
- 4) sedimentazione di materiale nei serbatoi di accumulo;
- 5) erosione di *biofilm* e contaminazione microbica durante attività di manutenzione delle reti.

Le analisi dei dati qualitativi delle acque unitamente ai risultati delle ispezioni hanno evidenziato come circa il 90% dei rischi siano mitigati attraverso le misure di controllo esistenti. Per il restante 10% sono state identificate delle idonee azioni correttive ed è stato definito un piano di miglioramento. Alcune di queste azioni sono state già implementate, quali, ad esempio, i lavori di ristrutturazione e rifacimento dei due principali serbatoi della città (Pellegrino e Carraia, volume totale 33000 m³), l'installazione di strumentazione di processo online (*early-warning*) all'opera di presa dell'impianto Anconella, l'integrazione e revisione dei manuali di conduzione degli impianti, l'analisi di specifici contaminanti emergenti chimici e microbiologici sia nelle acque grezze che nelle acque potabilizzate.

Ultimata la valutazione del rischio e redatta la matrice, sono emerse le seguenti situazioni di pericolo di maggiore entità che sono e saranno affrontate attraverso le azioni correttive individuate:

- l'assenza di un serbatoio tampone in caso di eventi di contaminazione ingente della risorsa che consentirebbe la continuità del servizio anche in caso di fermata della presa superficiale;

- il pericolo di interruzione del servizio in caso di rottura del sistema di ripartizione idraulica dell'acqua preclorata presso l'impianto Anconella. Si rende pertanto necessaria una verifica strumentale dello stato di corrosione;
- l'implementazione di un piano di monitoraggio dei composti emergenti e la valutazione dell'efficienza di abbattimento da parte degli impianti Anconella e Mantignano;
- l'implementazione di sistemi *early warning* come alert in presenza di eventi di contaminazione sia presso gli impianti di potabilizzazione che presso l'invaso Bilancino (per quanto riguarda il pericolo cianotossine);

Fase	Evento pericoloso	Tipo di pericolo	P	G	R1 punteggio	R1 classe
Opere di presa	Contaminazione dell'acqua da attività industriali, scarichi illeciti, dilavamento, incidenti stradali, etc.	Chimico	4	5	20	Molto alto
		Fisico	4	3	12	Alto
		Microbiologico	4	5	20	Alto
Trattamento di potabilizzazione	Inquinamento chimico e batteriologico dell'acqua del fiume Arno da composti emergenti (CECs) e virus, protozoi, etc.	Chimico	3	5	15	Alto
		Microbiologico	3	5	15	Alto
Accumulo	Sedimentazione di materiale sul fondo	Microbiologico	2	5	10	Alto
Distribuzione	Crescita microbica e accumulo di biofilm	Microbiologico	3	5	15	Alto
Note: P = Probabilità; G = Gravità; R1 = rischio senza considerare le misure di controllo esistenti; V = Validazione delle misure di controllo esistenti; R2 = rischio considerando le misure di controllo esistenti; PE = Parzialmente efficaci; E = Efficaci.						

Tabella 8: Estratto della matrice di rischio del PSA Firenze

- aggiornamento del piano di emergenza e delle procedure di collaudo idraulico e messa in esercizio nuove condotte;
- presenza, in alcuni serbatoi, di materiale sedimentato sul fondo. Si rende pertanto necessaria l'implementazione di opportuni piani di manutenzione dei serbatoi per la pulizia delle vasche;
- presenza di danni strutturali presso alcuni serbatoi e sollevamenti. Si rendono pertanto necessari interventi di manutenzione delle infrastrutture;
- implementazione di nuovi punti di campionamento presso i distretti Tacca, Cure.

Misure di controllo esistenti	V	P	G	R2 punteggio	R2 classe	Azioni correttive
Trattamento completo di chiariflocculazione, filtrazione rapida e GAC, disinfezioni multiple.	E	1	5	5	Basso	Sistemi Early warning
	E	1	3	3	Basso	
	E	1	5	5	Basso	
Trattamento di adsorbimento s GAC e disinfezioni multiple.	PE	2	5	10	Alto Basso	Definizione di un piano di monitoraggio dei CECs
	E	1	5	5		
1. Programma di pulizia serbatoi 2. Ispezioni; 3. Analisi di laboratorio.	E	1	5	5	Basso	
1. Programma di pulizia delle reti; 2. Disinfettante residuo; 3. Analisi di laboratorio.	E	1	5	10	Basso	Installazione di sonde per la torbidità nei terminali di rete

Nella Tabella 8 (pagina precedente), si riporta un estratto di matrice di rischio per il sistema acquedottistico del comune di Firenze.

L'output del PSA, ossia la matrice di rischio, sarà periodicamente aggiornato sullo stato di avanzamento delle azioni di miglioramento condivise dal team e sulla definizione dei rischi residui.

Le principali azioni correttive contenute all'interno del Piano di miglioramento sono riportate nella Tabella 9 con definizione dei responsabili, delle tempistiche e dello stato di avanzamento.

Azione correttiva	Area Responsabile	Scadenza	Stato di avanzamento
Implementazione strumentazione di processo online (early-warning)	IMPIANTI	Settembre 2019	100%
Manutenzione straordinaria dei principali serbatoi del Comune di Firenze	IMPIANTI	Settembre 2019	100%
Approfondimenti analitici (analisi parametri emergenti e Untarget, screening metalli, etc.)	LABORATORIO	Medio termine	100%
Implementazione nuove procedure (evoluzione del piano di emergenza e del piano di razionamento)	IMPIANTI E RETI	Medio termine	10%
Aggiornamento dei piani di manutenzione serbatoi e impianti	IMPIANTI	Medio termine	10%
Aggiornamento procedure di messa in esercizio e collaudo idraulico nuove condotte	RETI	Medio termine	50%
Analisi di fattibilità di sistemi alternativi per l'approvvigionamento idrico del comune di Firenze	IMPIANTI E RETI	Lungo termine	10%

Tabella 9: Principali azioni di miglioramento contenute nel piano di miglioramento del PSA Firenze

7.4 ESEMPI DI EVENTI PERICOLOSI E PERICOLI ANALIZZATI E AZIONI CORRETTIVE INDIVIDUATE

Contaminazione dell'acqua da attività agricole e industriali

Dato l'elevato grado di inquinamento della fonte di approvvigionamento, nonostante l'elevata efficienza di trattamento degli impianti, è stato adottato un approccio preventivo finalizzato a rilevare in breve tempo eventi di contaminazione dell'acqua grezza tramite sistemi *early-warning*. Si tratta di sonde UV e NPOC che, insieme a quelle già in essere per la misura di torbidità, redox, pH, consentono di rilevare in tempo reale variazioni della qualità dell'acqua in ingresso agli impianti e di adottare azioni volte a mitigarne le conseguenze.

Contaminazione dell'acqua da contaminanti emergenti

I contaminanti emergenti (CECs) rappresentano una classe di composti che destano particolare interesse e preoccupazione a causa della loro pericolosità, tossicità e persistenza nelle risorse idriche. Si tratta prevalentemente di inquinanti organici di origine industriale come prodotti dell'igiene personale, prodotti farmaceutici, pesticidi, droghe d'abuso, sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS). I processi convenzionali di trattamento delle acque (chiariflocculazione, filtrazione su sabbia e disinfezione) non sembrano essere sufficienti alla loro rimozione, mentre i processi di adsorbimento GAC e quelli di ossidazione avanzata, rappresentano ad oggi la migliore strategia di contenimento. Nell'ambito del PSA, è stata valutata la presenza di 35 CECs (tra cui: prodotti farmaceutici, droghe, PFAS, distruttori endocrini) sia nelle acque grezze che in quelle potabilizzate. Dai risultati è emerso che le concentrazioni sono inferiori al limite di quantificazione in tutti i campioni prelevati. L'unica eccezione è data dagli PFAS, presenti nell'acqua grezza in concentrazioni pari a 19 ng/l e assenti nell'acqua potabilizzata. Pertanto, la filtrazione GAC si dimostra una barriera efficace per i livelli di concentrazione rilevati nelle acque grezze.

Anche le microplastiche rientrano nella categoria dei contaminanti ambientali emergenti e come tali sono stati inseriti nella matrice del rischio per la possibile presenza nell'acqua superficiale a causa delle attività umane (scarichi civili, dilavamento, trasporto atmosferico ecc.). Allo stato attuale non esiste un metodo ufficiale e condiviso a livello nazionale o internazionale per la determinazione delle microplastiche e non sono noti gli effetti sulla salute. Infatti la Dir. EU 2020/2184 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano le prende in considerazione ma senza valori limite di riferimento, prevedendo l'emissione di un metodo per la loro determinazione nel 2024. Anche se nella letteratura scientifica esi-

stono ancora pochi dati sulla presenza di microplastiche nelle acque potabili e sull'efficienza dei trattamenti di potabilizzazione, moltissimi sono i dati sulla rimozione di altre particelle, simili alle microplastiche, per le quali i meccanismi di rimozione sono ben noti. Gli impianti che trattano acque superficiali, come Anconella e Mantignano, sono progettati per la rimozione di particelle inferiori al micron in grandi concentrazioni, pertanto ci si attende che siano efficienti anche nei confronti delle microplastiche, che hanno caratteristiche simili a molte particelle naturali. Analisi preliminari sulla presenza di microplastiche nell'acqua distribuita dall'impianto Anconella confermano questa tesi.

Contaminazione microbiologica da organismi patogeni

L'analisi dei tradizionali microrganismi indicatori (Batteri coliformi a 37°C, *E. Coli*, *Enterococchi*), non è sufficiente a salvaguardare la salute pubblica dal momento che la loro assenza nelle acque trattate non esclude la presenza ad esempio di virus e protozoi, i quali risultano più resistenti ai processi convenzionali di trattamento tramite filtrazione e disinfezione con prodotti a base di cloro. Pertanto, sono state effettuate delle determinazioni microbiologiche approfondite per l'analisi di virus e batteri e valutarne l'efficienza di rimozione da parte degli impianti. I campioni sono stati prelevati nei mesi di aprile, giugno e novembre 2019 sia nelle acque grezze (superficiali e sotterranee), sia nelle acque trattate dai due potabilizzatori.

I campioni di acqua grezza superficiale mostrano la presenza di virus (Norovirus GI, Norovirus GII e Adenovirus), Amebe e Colifagi somatici. Mentre batteri quali *Campylobacter spp.*, *Campylobacter jejuni* risultano assenti. Nei campioni di acqua sotterranea non è stata invece rilevata alcuna presenza.

Le analisi condotte sui campioni di acqua potabilizzata confermano l'elevata efficienza degli attuali processi di trattamento dal momento che non è stata rilevata alcuna presenza di virus e batteri nella risorsa erogata.

Sedimentazione all'interno dei serbatoi, crescita e accumulo di biofilm nelle condotte

I principali rischi all'interno delle reti di distribuzione sono correlati a fenomeni di sedimentazione nei serbatoi di accumulo e crescita di biofilm nelle condotte, soprattutto in caso di basse velocità di flusso, alti tempi di residenza nelle reti e bassi livelli di cloro residuo. L'attuale programma di manutenzione dei serbatoi e il piano di spurgo delle reti, unitamente alla concentrazione residua di cloro e alle ri-clorazioni presso i serbatoi, consente di limitare le ricrescite microbiologiche in rete minimizzando il rischio di contaminazione microbiologica delle acque distribuite.

8. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il PSA del comune di Firenze, avviato nel febbraio 2018, è stato condotto analizzando i dati qualitativi delle acque grezze e delle acque immesse in rete; a questo si sono aggiunti l'analisi dell'intero processo di trattamento/distribuzione e di quanto emerso nelle numerose ispezioni eseguite dal team multidisciplinare.

Il Piano ha permesso di ottenere un quadro più dettagliato ed esaustivo del sistema e dei rischi presenti nell'intera filiera (captazione, potabilizzazione, accumulo, distribuzione), di individuare i punti di maggiore vulnerabilità e definire idonee azioni cor-

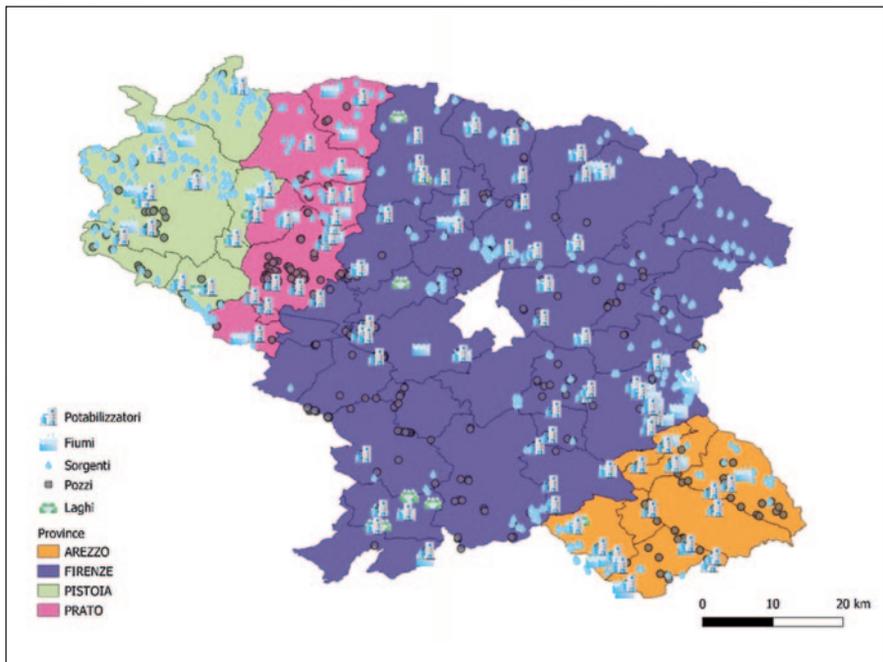


Figura 22: Territorio gestito da Publicacqua, potabilizzatori e opere di approvvigionamento

rettive, di indirizzare gli investimenti futuri, di facilitare la comunicazione e condivisione di informazioni, dati e conoscenze tra gli enti (team multidisciplinare) e di incrementare la sicurezza per il consumatore finale, che costituisce l'obiettivo finale di tutto il processo di analisi.

Il progetto del PSA di Firenze non si conclude ma sarà oggetto di periodica revisione e aggiornamento in un'ottica di continuo miglioramento al fine garantire una sempre maggiore qualità dell'acqua.

Publiacqua ha già avviato, in collaborazione con l'Università di Firenze, un piano di estensione del PSA a tutto il territorio di sua competenza (Figura 22): si tratta di un territorio molto vasto che conta 1.3 milioni di abitanti serviti, oltre 1500 fonti di approvvigionamento e 100 potabilizzatori, oltre 1000 accumuli e pompaggi, per un volume annuo complessivo immesso in rete di 150 Mm³, che per la sua estensione e eterogenea distribuzione territoriale beneficerà ampiamente dall'introduzione di un'analisi sistematica come quella in oggetto

BIBLIOGRAFIA

AWWA, 1999. *Water Quality and Treatment: A handbook of community water supplies*, 5th ed. New York.

European Union (EU), 2015. Commission Directive (EU) 2015/1787 of 6 October 2015 amending Annexes II and III to Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Off. J. Eur. Union, L260/6.

<https://doi.org/http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1787/oj>

Hrudey, S.E., Hrudey, E.J., 2007. Published Case Studies of Waterborne Disease Outbreaks—Evidence of a Recurrent Threat. *Water Environ. Res.* 79.

<https://doi.org/10.2175/106143006X95483>

ISTAT, 2020. *Rapporto SDGs 2020. Informazioni Statistiche per l'Agenda 2030 in Italia*. Istituto nazionale di statistica.

Italy, 2001. Legislative Decree n° 31 of 2 February 2001, concerning «Attuazione della Direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano». *Gazz. Uff.*

Lucentini, L., Achene, L., Fuscoletti, V., Nigro Di Gregorio, F., Pettine, P., 2014. Linee guida per la valutazione e gestione del rischio nella filiera delle acque destinate al consumo umano secondo il modello dei Water Safety Plan, (Rapporti ISTISAN 14/21). Istituto Superiore di Sanità, Roma.

Moreira, N.A., Bondelind, M., 2016. Safe drinking water and waterborne outbreaks. *J. Water Health* 15, 83–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.2166/wh.2016.103>

UN DESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs). 2011. *World Urbanization Prospects, The 2011 Revision*. New York, United Nations.

Veolia and IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2015. *The Murky Future of Global Water Quality. A White Paper by Veolia & IFPRI*.

- WHO, 2017. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum, IV. ed, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Geneva.
[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)
- WHO, 2009a. Water Safety Plan Manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers. WHO Libr. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1970.tb00528.x>
- WHO, 2009b. Water Safety Plan Manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers, WHO Library. Geneva. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1970.tb00528.x>
- WHO, 2013. How much water is needed in emergencies. Prepared for WHO by WEDC. Authors: Brian Reed and Bob Reed. Series Editor: Bob Reed. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/WHO_TN_09_How_much_water_is_needed.pdf?ua=1
- WHO, IWA, 2017. Global status report on water safety plans: A review of proactive risk assessment and risk management practices to ensure the safety of drinking-water, Who. https://doi.org/Water_Safety_Plans
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2016. The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs. Paris, UNESCO.
- WHO, 2019. Microplastics in drinking-water. Geneva: World Health Organization; 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/

SITI WEB

- United Nations SDGs Report 2020: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/>
Drinking Water in the EU: <https://www.europarl.europa.eu/>

Finito di stampare presso
POLISTAMPA FIRENZE srl
settembre 2022

Il Piano di sicurezza dell'acqua è uno strumento innovativo per la gestione del servizio idrico che si fonda su modelli di analisi e valutazione del rischio, definizione di obiettivi e monitoraggio del loro raggiungimento.

Introdotta nel 2004 dall'Organizzazione mondiale della Sanità, in Italia viene adottata nel 2014 con le linee guida per la sua implementazione emesse dall'Istituto Superiore della Sanità. La direttiva europea 2020/2184 sulle acque potabili ha introdotto l'obbligo del monitoraggio della qualità dell'acqua puntando proprio sui temi di analisi e gestione del rischio proprio del Piano di sicurezza delle acque. La stessa Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente ha inserito l'adozione dei piani di Sicurezza dell'Acqua tra gli indicatori di qualità tecnica utili alla valutazione dei gestori.

Tra i suoi campi di applicazione non vi è solamente la qualità e la sicurezza della risorsa erogata ma anche la gestione del rischio connesso a possibili emergenze quantitative della risorsa.

Il Piano di Sicurezza dell'acqua del Comune di Firenze è stato redatto da un Comitato tecnico scientifico a cui hanno partecipato:

- Ministero della Salute (Gerardo Califano),
- Istituto Superiore della Sanità (Lucia Bonadonna, Emanuele Ferretti, Marcello Iaconelli, Luca Lucentini, Giuseppina La Rosa, Susanna Murtas, Enrico Veschetti),
- ARPAT (Susanna Cavalieri),
- ASL (Oria Baroncini, Elisabetta Ciullini, Vincenzo Cordella, Giovanni Repaci),
- Regione Toscana (Riccardo Grifoni),
- Autorità di Bacino Appennino Settentrionale (Anna Battaglini, Ilaria Gabbrielli),
- Autorità Idrica Toscana (Andrea Cappelli),
- Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria civile e Ambientale (Cecilia Carretti, Claudio Lubello, Roberta Muoio),
- Ingegnerie Toscane S.p.A. (Vanda Giusti),
- Publiacqua S.p.A. (Cristiano Agostini, Beatrice Anichini, Sebastiano Benedetti, Simonetta Berchielli, Giampiero Cozzi, Massimo Fabbri, Tania Macchi, Armando Miniati, Massimo Nebbiai, Leonardo Rossi, Maurizio Razzolini, Daniela Santianni)