

PRODOTTO T2.3.1

Rapporto sul monitoraggio dell'efficacia idraulica e di trattamento di infrastrutture verdi



Relatore: Rudy Rossetto – Scuola Superiore Sant’Anna

Alessandro Lenti – Scuola Superiore Sant’Anna

....-Luca Sebastiani – Scuola Superiore Sant’Anna

.....Laura Ercoli – Scuola Superiore Sant’Anna

.....Alessandra Francini – Scuola Superiore Sant’Anna

31/10/2023

v. 1.0

PRODOTTO T2.3.1

Rapporto sul monitoraggio dell'efficacia idraulica e di trattamento di infrastrutture verdi

Questo rapporto descrive i risultati dell'attività T2.3 circa il monitoraggio dell'efficacia idraulica e di trattamento di due infrastrutture verdi con l'obiettivo di incrementare la fiducia di enti e cittadini in dette infrastrutture per favorirne poi la diffusione. In questa attività si sono monitorate due diverse infrastrutture: i) parcheggio permeabile costituito da un grigliato drenante in calcestruzzo inerbato (sito nel Comune di San Giuliano Terme), ii) un canale vegetato, nella zona peri-urbana di Pisa, che raccoglie acque di scolo dell'area urbanizzata non trattate o risultanti da trattamenti locali (fosse Imhoff).

Su queste due infrastrutture sono stati svolti monitoraggi rispettivamente per valutare l'efficienza idraulica (parcheggio permeabile) e la capacità di trattamento in particolare di metalli e composti farmaceutici.

In sintesi, le pavimentazioni permeabili (una tipologia tra i sistemi di drenaggio sostenibile, *SuDS*) sono progettate per ridurre il volume e il flusso di picco delle acque meteoriche in loco, migliorando la qualità dell'acqua infiltrata e contribuendo a combattere il fenomeno delle isole di calore nelle città. In questo monitoraggio, abbiamo testato la capacità di infiltrazione di una pavimentazione grigliata drenante in calcestruzzo inerbato, costruita nel 2008, utilizzando test infiltrometrici ad anello singolo. Abbiamo analizzato come vari fattori, tra cui la posizione all'interno del parcheggio, influenzino i tassi di infiltrazione all'interno del pavimento permeabile. Nonostante l'assenza di manutenzione e 15 anni di funzionamento, la capacità di infiltrazione di questa infrastruttura supera ancora la capacità minima di infiltrazione di 1.62 mm/min richiesta in molte regioni europee. Ciò può essere dovuto alla presenza di fessure nel terreno e allo sviluppo di radici di piante e attività di insetti all'interno dei vuoti della pavimentazione. Questo "sistema vivente" si sviluppa continuamente e contrasta il fenomeno della siltazione (che tende a ridurre la capacità di infiltrazione) riorganizzando i primi strati del terreno e interagendo con il processo di compattazione. Questo studio dimostra che l'incorporazione dei pavimenti permeabili nelle aree urbane costituisce una efficace misura di adattamento al cambiamento climatico, anche nel lungo periodo e con una manutenzione limitata.

Il monitoraggio della capacità di trattamento di un canale vegetato ha invece permesso di verificare come queste infrastrutture lineari possano contribuire ad una riduzione del carico contaminante nelle acque superficiali. In particolare, i monitoraggi effettuati hanno dimostrato come su una lunghezza di circa 400 m si possa arrivare ad una riduzione sostanziale della massa di sostanze contaminanti nel periodo secco.

1. Le pavimentazioni permeabili costituiscono un metodo efficace per ridurre la generazione di deflusso superficiale.

1.1 Introduzione

In questa ricerca, abbiamo testato la capacità di infiltrazione di un parcheggio permeabile pavimentazione grigliata drenante in calcestruzzo inerbito, costruita nel 2008, utilizzando test infiltrometrici ad anello singolo per indagare come vari fattori, tra cui la posizione all'interno di un singolo parcheggio, influenzino la capacità di infiltrazione. Gli obiettivi del monitoraggio sono stati: i) presentare i dati di infiltrazione su un tipo specifico di pavimento permeabile nella stagione secca; ii) verificare la robustezza dei dati raccolti attraverso test infiltrometrici ad anello singolo; iii) confrontare questi dati con i tassi di infiltrazione di un terreno vegetato e di asfalto nello stesso luogo.

1.2 Materiali e metodi

Abbiamo testato pavimentazioni grigliate in calcestruzzo, parcheggi in asfalto e terreni artificiali vegetati in un parcheggio situato nel comune di San Giuliano Terme (Figura 1.1). Si tratta di un'ampia area di parcheggio a servizio di una residenza per studenti e di una scuola materna, coperta in gran parte da asfalto e in parte, su un'area limitata, e da stalli di sosta costituiti da pavimentazioni in grigliato (PG). Il parcheggio è stato costruito nel 2008 e da allora le uniche operazioni di manutenzione eseguite sono state il taglio delle erbe, quando necessario, senza un programma regolare.

I test di infiltrazione sono stati eseguiti tra il 18 luglio e il 4 agosto 2023, durante la stagione secca, quindi i nostri dati si riferiscono alle condizioni estive del suolo secco. Durante il periodo dei test, la temperatura media giornaliera dell'aria è stata di 26°C (con picco massimo di 33,8°C e minimo di 17,8°C).

La Figura 1.2 mostra una descrizione schematica della stratigrafia del sito. Nell'area del parcheggio, al di sopra del terreno naturale (terreno limoso/argilloso), la parte artificiale inizia con detriti di costruzione/frammenti di roccia. Su di essa, suolo limoso è stato posato nell'area delle pavimentazioni permeabili e nelle aree verdi (aiuole). I PG sono presenti in 11 undici stalli di parcheggio (Figura 1.1). Nelle aree verdi, durante il periodo di prova, il terreno era asciutto ed erano presenti diverse fessure aperte (grandi fino a 5 mm). La vegetazione era in gran parte

caratterizzata da erba nelle aiuole. Nei vuoti del CGP era presente anche la malva (*Malva sylvestris*). Le aree in cui l'asfalto era mancante/usurato presentavano uno spessore di circa 5 cm di asfalto posato su un letto di ghiaia.

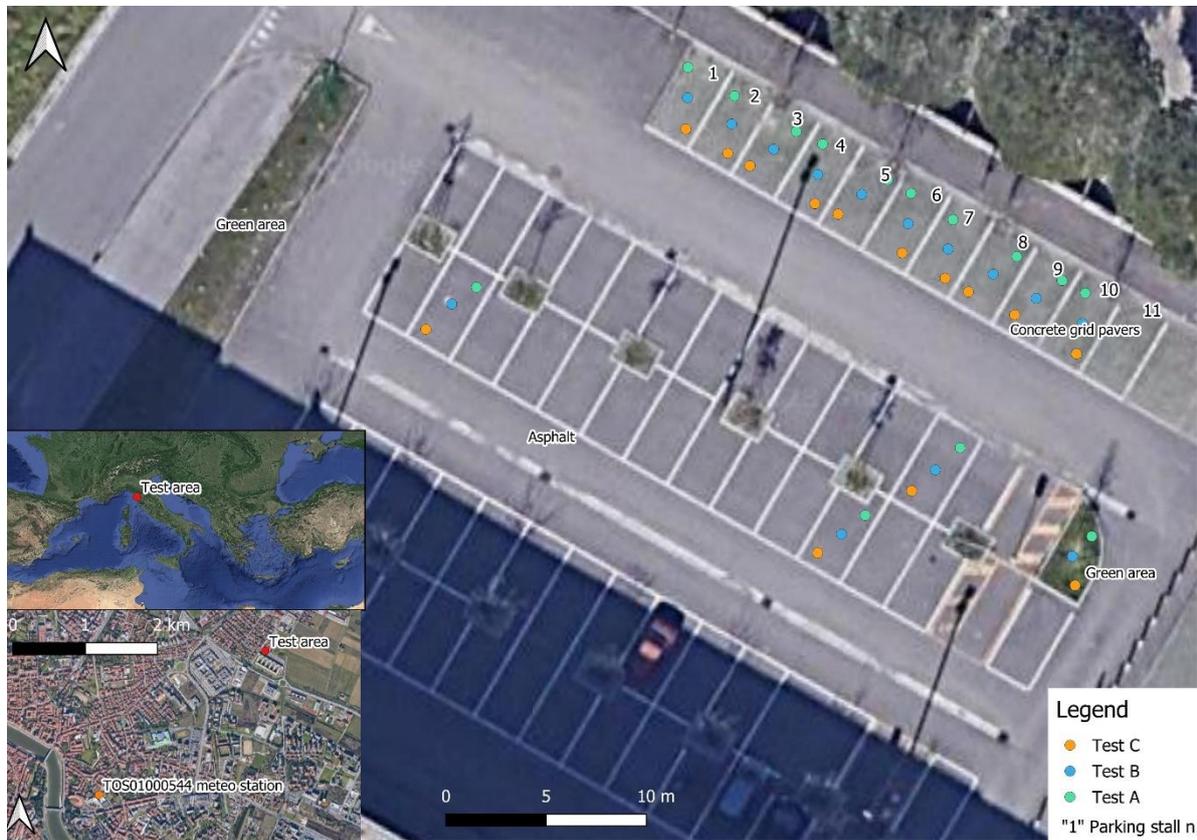


Figura 1.1 Posizione geografica dell'area di prova, posizione della stazione meteo TOS01000544 e posizione delle pavimentazioni testate.

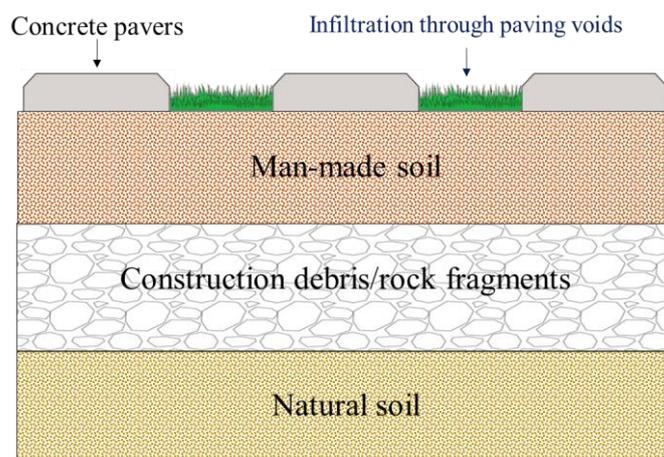


Figura 1.2 Rappresentazione schematica della stratigrafia del CGP nel sito indagato.

1.2.1 Test di infiltrazione

Il tasso di infiltrazione è stato monitorato attraverso l'uso di una prova di infiltrazione ad anello singolo, che è una forma modificata dei metodi di prova di infiltrazione ad anello doppio descritta in ASTM D 3385. L'attrezzatura sperimentale consisteva in anelli di acciaio con diametro interno di 28, 30 e 32 cm (Royal Eijkelkamp, Paesi Bassi), un ponte di misura, l'asta di misura con galleggiante e materiale di tenuta (Figura 1.3B).

Il test, in breve, consisteva nel sigillare l'anello al terreno/pavimentazione, riempirlo d'acqua e quindi misurare la riduzione del livello dell'acqua in un tempo specifico per valutare il tasso di infiltrazione. Mentre il posizionamento dell'anello su un terreno vegetato/naturale è piuttosto semplice, la sfida principale nell'utilizzo del test dell'infiltrometro per valutare la capacità di infiltrazione di asfalti/pavimentazioni permeabili è che gli anelli non possono penetrare nella superficie di prova per creare un sigillo a prova di perdite. Di conseguenza, per condurre il test in modo accurato, è necessario sigillare gli anelli contro la superficie della pavimentazione utilizzando un sigillante impermeabile. Se l'acqua fuoriesce o bypassa l'anello, può portare a sovrastime o fluttuazioni significative nei valori di infiltrazione misurati. Per questo esperimento, dopo aver testato diverse soluzioni e materiali di sigillatura, abbiamo utilizzato un approccio a doppia sigillatura. Una prima sigillatura è stata effettuata utilizzando TEC7^(R), una colla ad alta capacità adesiva che aderisce a substrati sia umidi che asciutti (Novatech International nv., Belgio). Inoltre, dopo la bagnatura iniziale, abbiamo distribuito all'esterno dell'anello la polvere Lamposilex^(R) (MAPEI, Italia), per bloccare l'eventuale fuoriuscita residua di acqua. Utilizzando questo approccio, è stata ottenuta una soluzione sigillante e non sono state osservate perdite entro 30 minuti dalla messa in opera del test. Una volta ottenuto questo risultato, è iniziato il test.

La Tabella 1.1 presenta le informazioni sui test eseguiti. In ogni posizione del CGP sono state eseguite tre prove di infiltrazione. La prima prova è stata condotta in condizioni di completa siccità, con un'elevata capacità di infiltrazione. Tuttavia, poiché diverse cause durante l'infiltrazione possono ostacolare il raggiungimento della massima saturazione, abbiamo ripetuto i test altre due volte nello stesso punto entro una-due ore dalla fine della prima prova.

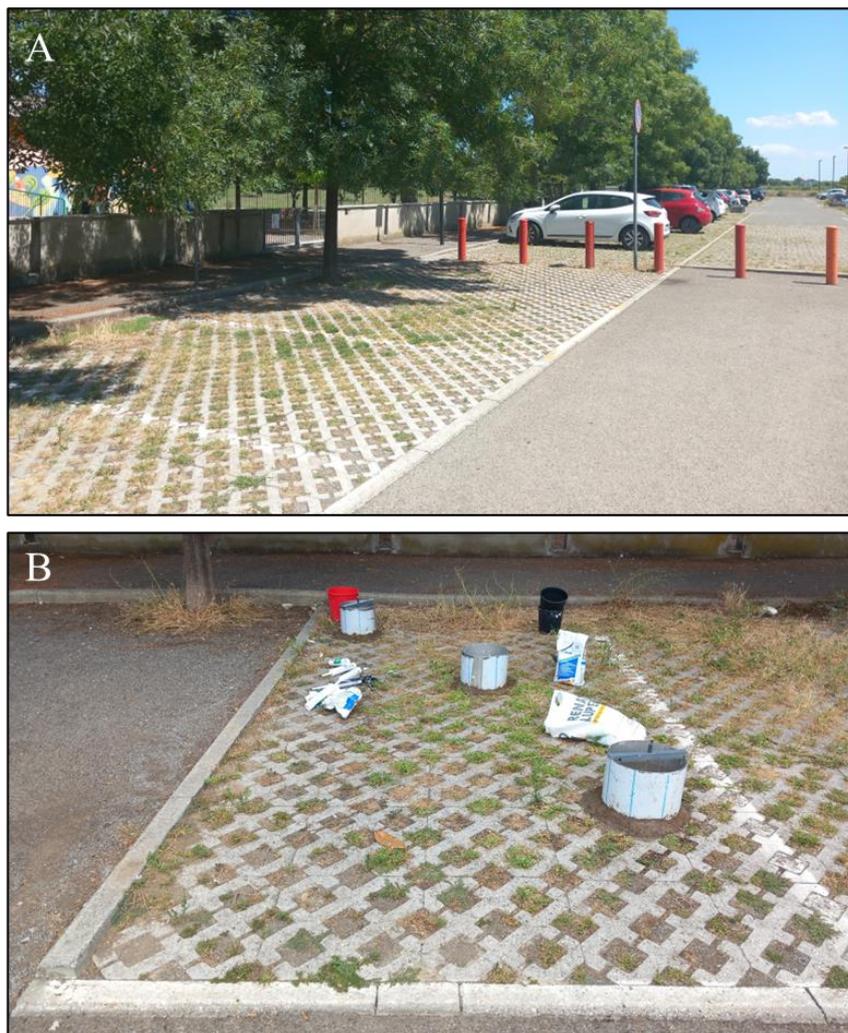


Figura 1.3 Area di parcheggio con pavimentazione a griglia in calcestruzzo (A) e set-up sperimentale (B).

Ogni prova è proseguita fino al raggiungimento di un valore di infiltrazione relativamente costante. La media dei risultati delle due prove successive viene definita "prova in condizioni umide". Nei punti 6A e 6C è stata applicata una sola prova in condizioni umide dopo la prova a secco. Per l'analisi statistica, abbiamo incluso una seconda replica con l'ipotesi che i risultati corrispondessero a quelli della prima prova in condizioni umide.

Le prove sull'asfalto e sui terreni vegetati sono state eseguite solo in condizioni asciutte, cioè una prova per posizione. Delle diverse prove sul terreno artificiale vegetato, solo tre sono state completate e hanno permesso di ottenere risultati di infiltrazione. Ciò è dovuto alla presenza delle già citate ampie fessure nel terreno, che in molti casi non hanno permesso di creare il

carico idraulico necessario nel cilindro. In pratica, quando l'acqua veniva versata nell'anello, si infiltrava quasi istantaneamente attraverso le fessure.

Tabella 1.1 Numero di località di prova e di test di infiltrazione per ogni tipo di copertura del suolo

Tipo di copertura del suolo	N. di posizioni test	N. di prove di infiltrazione
Pavimenti permeabili	30	90
Asfalto	9	9
Aree verdi	3	6

1.3. Risultati e discussione

Presentiamo i dati di 88 test eseguiti su 10 stalli di PG. Nei 10 stalli PG, i tassi di infiltrazione generali misurati in condizioni di pre-asciutto e di bagnato variano da 1,89 a 6,31 mm/min, con una media di 4,03 mm/min (Tabella 1.2), superando il requisito del tasso di infiltrazione minimo di progetto di 1,62 mm/min, come specificato da alcune autorità europee, come nei Paesi Bassi, in Belgio e in Germania, per le pavimentazioni permeabili di nuova installazione.

I tassi di infiltrazione in tre stalli di parcheggio in asfalto in condizioni asciutte variano tra 0,37 e 0,83 mm/min (con una media di 0,54 mm/min). Le prove condotte su terreni artificiali vegetati (spazi verdi) indicano tassi di infiltrazione significativamente elevati, compresi tra 3,93 e 9,87 mm/min, con una media di 6,36 mm/min (e il valore più alto di deviazione standard). Tuttavia, a causa della presenza delle fessure da disseccamento, in diversi punti testati l'infiltrazione era praticamente infinita e non misurabile.

I valori del tasso di infiltrazione durante la stagione secca sono sostanzialmente più alti nei PG rispetto all'asfalto standard, anche dopo 15 anni di vita dei PG. I valori sono inferiori a quelli misurati sul suolo vegetato a causa delle condizioni del suolo nella stagione secca.

Tabella 1.2. Statistiche riassuntive per tutte le superfici e i test eseguiti (tutti i valori sono espressi in mm/min)

Copertura del suolo/Localizzazione	min	massimo	Mediana	Media	Deviazione standard	
1	2.57	5.23	3.57	3.75	0.96	
2	3.01	6.31	4.34	4.41	1.12	
3	3.41	5.71	4.07	4.18	0.84	
4	1.89	3.93	3.04	2.98	0.68	
5	3.32	5.50	4.40	4.42	1.11	
6	2.59	5.22	4.10	4.04	0.84	
Pavimenti permeabili	7	3.21	5.26	4.13	4.22	0.73
8	3.04	5.74	4.26	4.23	1.16	
9	2.39	5.82	3.70	3.82	1.19	
10	3.34	5.19	4.32	4.29	0.83	
Tutti i punti	1.89	6.31	3.95	4.03	0.98	
Asfalto	0.37	0.83	0.50	0.54	0.18	
Aree verdi	3.93	9.87	6.73	6.36	2.20	

1.4. Conclusioni

Questo studio presenta i dati e i risultati di prove sul campo effettuate a Pisa (Italia) su un parcheggio permeabile PG durante la stagione estiva secca. La ricerca ha valutato il tasso di infiltrazione attraverso l'applicazione di una procedura di prova ad anello singolo semplice ed economica. L'esecuzione di un singolo test di infiltrazione su PG in condizioni asciutte può portare a una sovrastima dei tassi di infiltrazione. Per ottenere valori di infiltrazione quasi stazionari sono necessari almeno due test successivi.

I valori dell'infiltrazione superficiale variavano tra un minimo di 1,89 mm/min e un massimo di 6,31 mm/min, con una media di 4,03 mm/min. I valori del tasso di infiltrazione durante la

stagione secca sono sostanzialmente più alti nei PG rispetto all'asfalto standard, anche dopo 15 anni di attività.

Nonostante l'assenza di manutenzione e 15 anni di funzionamento, nel nostro caso la capacità di infiltrazione dei CGP supera ancora la capacità minima di infiltrazione di 1,62 mm/min richiesta in molte regioni europee. Ciò può essere dovuto alla presenza di fessure nel terreno e allo sviluppo di radici di piante e insetti all'interno dei vuoti della pavimentazione. Questo "sistema vivente" si sviluppa continuamente e contrasta la siltazione riorganizzando i primi strati del terreno e interagendo con il processo di compattazione.

Il nostro studio dimostra che l'incorporazione di pavimentazioni permeabili nella progettazione di aree urbane è un approccio potenzialmente efficace per affrontare le sfide emergenti associate ai cambiamenti climatici, anche nel lungo periodo e con una manutenzione limitata.

2. I canali vegetati permettono la riduzione del carico inquinante derivante dalle aree urbane.

2.1 Introduzione

Il monitoraggio della capacità di trattamento di un canale vegetato ha invece permesso di verificare come queste infrastrutture lineari possano contribuire ad una riduzione del carico contaminante nelle acque superficiali. Il monitoraggio è stato eseguito su un canale vegetato che raccoglie acque di scolo dell'area urbanizzata non trattate o risultanti da trattamenti locali (fosse Imhoff), nella zona peri-urbana di Pisa (Figura 2.1).



Figura 2.1. Tratto di canale investigato e punti monitorati.

Il monitoraggio è stato eseguito in condizioni di basso flusso, ad un punto in ingresso (OC_1) e quindi a 400 m di distanza al punto OC_2. Sono stati raccolti campioni compositi (2 volumi di 0,5 L ogni 10 minuti rappresentativi di circa 20 minuti). L'esperimento è stato condotto in data 11 Ottobre 2023. Le velocità medie del flusso longitudinale sono state misurate mediante un misuratore di corrente digitale acustico (OTT Messtechnik GmbH, Kempten; Germania). I campioni sono stati refrigerati fino alla esecuzione delle analisi, avvenuta nel giro di 15 giorni.

Le Tabelle 2.1A e 2.1B riportano i dati di campo rilevati durante l'esperimento rispettivamente ai punti OC_1 e OC_2. L'Allegato 2.1 presenta i dati relativi ai componenti maggiori in soluzione.



Figura 2.2. Punto di campionamento OC_1 (sinistra) e OC_2 (destra).

Tabella 2.1 A e B. Condizioni sperimentali rilevate durante il monitoraggio.

Tabella 2.1A	Time	T(°C)	SpC(μS)	DO(mg/L)	pH	ORP(mV)	Note
OC 1.1	7:20-7:40	17.1	1820	0.45	7.79	-20	3 bottles: 2*1L bottles, 1*0.250L bottle Water is clear Depth less than 0.1m ORP value was still decreasing Sunny weather
OC 1.2	8:50-9:10	17.0	1790	0.50	7.76	-235	
OC 1.3	10:20-10:40	17.8	1800	1.20	7.84	-98	Flow velocity at OC1: max 0.04 m/s, min 0.01m/s Estimated cross sectional area is 1*0.1m Estimated flow : max 4L/s with max v
OC 1.4	11:35-11:55	18.5	1750	0.79	7.88	-24	
OC 1.5	12:50-13:10	19.1	1760	0.83	7.89	6	Flow velocity at OC1: max 0.04 m/s, min 0.01m/s

Tabella 2.1B	Time	T(°C)	SpC(μS)	DO(mg/L)	pH	ORP(mV)	Note
OC 2.1	8:15-8:35	15.5	1740	0.9	7.79	60	
OC 2.2	9:20-9:40	16.0	1750	1.25	7.82	3	Flow velocity at OC1: max 0.1 m/s, min 0.01m/s Estimated cross sectional area is 0.5*0.05m Estimated flow : max 2.5L/s
OC 2.3	11:00-11:20	16.9	1760	0.58	7.85	52	
OC 2.4	12:05-12:25	18.0	1770	1.84	7.89	81	Weather becomes cloudy
OC 2.5	13:30-13:50	19.3	1780	2.32	7.89	82	Flow velocity at OC1: max 0.1 m/s, min 0.01m/s

Nella Tabella 3.1 sono riportati in percentuale gli abbattimenti della massa per gli elementi inorganici al passaggio dal punto OC_1 al punto OC_2 (tempo di percorrenza circa 2 ore).

Analiti	Dev. Standard	Abbattimento % medio
Ammonio (NH ₄ ⁺)	3.7	27
Cloruri (Cl ⁻)	4.1	27
Solfati (SO ₄)	1.1	39
Arsenico (As)	2.1	17
Boro (B)	1.1	48
Zinco (Zn)	2.5	39
Litio (Li)	1.9	32
Nichel (Ni)	1.5	17
Rame (Cu)	6.8	27
Stronzio (Sr)	0.4	29
Calcio (Ca)	0.0	25
Potassio (K)	2.1	27
Magnesio (Mg)	1.5	29
Sodio (Na)	2.0	29
Carbonio organico disciolto (DOC)	1.6	36

Nella Tabella 3.2 sono riportati in percentuale gli abbattimenti della massa per i composti farmaceutici analizzati al passaggio dal punto OC_1 al punto OC_2 (tempo di percorrenza circa 2 ore).

	Metformin	Atenolol	Clarithromycin	Naproxen	Ibuprofene
Dev. St.	7.7	18.4	22.1	8.0	16.3
Media % abbattimento	51.1	26.1	41.4	11.7	52.5

L'esperimento effettuato dimostra che un canale vegetato è in grado di abbattere, con un diverso grado di funzionalità, nelle acque superficiali sia analiti inorganici che composti organici. I dati presentati sono rilevanti poiché l'esperimento è condotto in condizioni di siccità per cui nel tratto investigato non si ha alcun effetto di diluizione.