



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

aww
Institut für Abwasserwirtschaft
und Gewässerschutz

MASTER THESIS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

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

***AN INTEGRATED URBAN WATER MANAGEMENT PLAN FOR THE CASE-STUDY CITY OF
TEPIC, NAYARIT, MÉXICO AND THE RESTORATION OF THE RÍO MOLOLOA***

ABSTRACT

SUPERVISORS:

UNIVERSITY OF NAPLES "FEDERICO II"

HAMBURG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF CIVIL, ARCHITECTURAL
AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

INSTITUTE OF WASTEWATER
MANAGEMENT AND WATER PROTECTION

Ch.mo Prof. Ing. Massimiliano Fabbricino

Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl

M.Sc., MBA Gabriela M. Espinosa Gutiérrez

CANDIDATE:

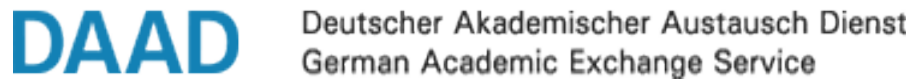
Mauro Lafratta

Matriculation Number: M67000028

NAPLES, ITALY

ACADEMIC YEAR 2013-2014

The research leading to these results has received funding from the Deutscher Akademischer Austausch Dienst (German Academic Exchange Service – DAAD) through the short research project scholarship (B1) A/12/73290 awarded for the research project *Sustainable water management planning of middle-sized cities in Latin America. Case-study of Tepic, Nayarit, Mexico.*



The research leading to these results has received funding from the FP7 IRSES PEOPLE 2009 program of the European Commission Marie Curie's International Research Staff Exchange Scheme (IRSES) on the behalf of the *Semillas RED LATINA Recuperación Ecosistemas Fluviales y Acuáticos* (Seeds of a Latin network on fluvial and aquatic ecosystems restoration – SERELAREFA) project under Grant Agreement n. 247522.

El proyecto SERELAREFA ha sido co-financiado por la Comisión Europea en el ámbito de su 7º programa marco FP7-PEOPLE-2009-IRSES con el acuerdo n. 247522.



La gestione delle acque nelle aree urbane ha un ruolo centrale nella sfida per un futuro sostenibile. La progressiva urbanizzazione dell'ambiente naturale determina notevoli pressioni antropiche, cui consegue che la concentrazione delle attività umane in un luogo specifico del territorio (la città) induce un più elevato e localizzato uso e consumo delle risorse naturali. La modifica del ciclo naturale delle acque in ambiente urbanizzato e la modificata distribuzione dei flussi idrici diviene un serio problema da affrontare. In tali contesti, infatti, gli inquinanti che le acque meteoriche raccolgono nel dilavamento superficiale e quelle che provengono dagli usi antropici della risorsa idrica (in ambiente domestico, industriale, ecc) non hanno più una diffusione sul territorio ma vengono convogliati verso specifici punti di trattamento o scarico diretto in corpi idrici ricettori. Gli inquinanti vengono quindi scaricati nell'ambiente in alte concentrazioni e, soprattutto, anche in grandi quantità, creando un impatto puntuale. È necessaria quindi una strategia di mitigazione degli impatti e il recupero del ciclo naturale delle acque attraverso l'adozione di una strategia adeguata e l'individuazione di interventi appropriati.

All'interno di questo progetto di ricerca è stata quindi sviluppata una proposta di Piano Integrato di Gestione delle Acque Urbane (Integrated Urban Water Management - IUWM) sul caso studio della città di Tepic, Nayarit, Messico.

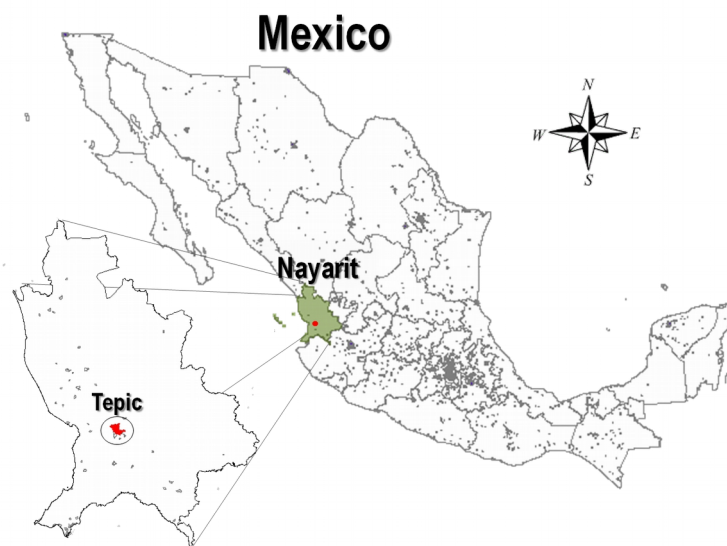


Immagine 1: Localizzazione della città di Tepic, Nayarit, Messico

Tepic è la capitale dello Stato del Nayarit, localizzato sulla costa pacifica del Messico, ed è attraversata dal fiume Mololoa. La condizione ambientale del fiume Mololoa, è una

seria preoccupazione per la città. L'area oggetto di studio è caratterizzata da un clima caldo con abbondanti piogge stagionali, per cui la disponibilità della risorsa idrica è adeguata rispetto ad altre aree messicane. Questa città al 2011, considerato come stato attuale del sistema, registra una popolazione di 331,674 abitanti, il cui 98% è servito dai servizi idrici pubblici, con una dotazione idrica di 248.87 *lppd*, e si estende su una superficie di 5,588 *ha*. La quantità di pioggia annua è considerata in 0.9996 *m/anno* per il 2011, dando il risultato di $55,853 \cdot 10^3$ *t/a*. Nella città vi sono inoltre attività industriali e commerciali moderate. Queste condizioni sono comuni in numerose città latino-americane.

La localizzazione nel tempo dello scenario di riferimento, dato dalla *Agenda del Agua 2030* (Agenda dell'Acqua 2030) messicana, è l'anno 2030. Per questo orizzonte temporale è stato sviluppato un primo scenario di proiezione dello sviluppo del sistema urbano dato dalle azioni già previste dai Piani territoriali vigenti (definito "Scenario 0"). La popolazione prevista al 2030 è di 475,411 abitanti ed è previsto uno sviluppo dell'ambiente urbanizzato del 20 % rispetto l'estensione attuale, diventando pari a 6,191 *ha*. L'altezza di pioggia prevista è stata considerata in 1.084 *m/anno*, pari alla media della serie storica delle precipitazioni annuali. Il quantitativo totale di acqua di pioggia è stato quindi stimato in $67,000 \cdot 10^3$ *t/a*. Per lo Scenario 0, inoltre, è stato considerato non fossero previste azioni tali da far variare sensibilmente la dotazione idrica, valutata in 247.22 *lppd*, sulla totalità della popolazione, in considerazione del fatto che il 100 % della popolazione nel 2030 sarà fornita dal servizio pubblico.

Gli obiettivi che il piano di prefigge di perseguire sono: il risparmio idrico, il miglioramento della gestione della risorsa idrica e delle acque reflue, la salvaguardia del ciclo naturale dell'acqua nell'area urbana e assicurare un impatto più sostenibile sulle risorse ecologiche del territorio in termini di riduzione dello scarico di sostanze inquinanti e di abbondanti flussi di acque piovane nel fiume.

La base per il Piano IUWM consiste in una valutazione integrata dell'uso dell'acqua in città mediante *Material Flow Analysis* (MFA) e il software *SToffströme ANalyse* (STAN). La MFA è una valutazione sistematica dei flussi e degli stock di materia e sostanze in un sistema definito nello spazio e nel tempo. Grazie a questa metodologia è possibile analizzare in modo semplice un sistema di flussi composti da un materiale e sostanze al suo interno. Il software STAN è un freeware prodotto dalla *Technische Universität Wien* (TU-Wien) in cooperazione con INKA Software, che consente di compiere delle analisi di MFA attraverso lo sviluppo di un modello di rappresentazione semplificato del sistema

complesso da analizzare. Questo strumento è stato utilizzato anche per la simulazione degli impatti delle misure di miglioramento proposte negli Scenari e la loro valutazione.

Per l'elaborazione del Piano sono stati costruiti tre diversi scenari, proponendo azioni e misure nel campo dell'uso domestico delle acque e pratiche all'avanguardia a livello globale nel campo della gestione delle acque di pioggia. Si è quindi fatto riferimento alle *Best Management Practices* (BMP) sull'uso dell'acqua e gestione delle acque reflue e adottando le pratiche previste dai *Sustainable Drainage Systems* (SuDS) e le *Water-Sensitive Urban Environmental Practices* (WSUEP) per l'acqua di pioggia, disponibili nella letteratura tecnica. La ricerca dei dati tecnici sull'efficienza di tali misure ha costituito un punto caratterizzante del progetto di ricerca in quanto vi è una vasta letteratura tecnica basata su singole esperienze in primo luogo europee, statunitensi e australiane, non sistematizzate in un *unicum* e di non immediato adattamento al caso studio per le diverse condizioni ambientali, climatiche e sociali riscontrate.

Le misure proposte riguardo l'uso domestico delle acque riguardano la riduzione del fabbisogno idrico attraverso apparecchiature che impiegano un minor quantitativo di acqua per svolgere lo stesso utilizzo di apparecchiature tradizionali, sistemi di controllo della pressione al fine di ridurre le perdite idriche, misure che riguardano la raccolta e il trattamento dei reflui e misure per il riuso e il riciclo di acque. Tutte queste iniziative, essendovi necessario il coinvolgimento della popolazione, nelle diverse esperienze analizzate ai fini del lavoro di tesi, sono state accompagnate da specifiche campagne informative e di sensibilizzazione, necessarie per la buona riuscita delle iniziative proposte.

Per la gestione delle acque di pioggia (distinte, nella terminologia inglese utilizzata nella redazione del progetto di ricerca, fra *rainwater*, le acque di pioggia prevalentemente non interessate da fenomeni di inquinamento dalle superfici urbane, e *stormwater*, le acque di dilavamento superficiale che contengono significative quantità e concentrazioni di inquinanti) sono state proposte diverse misure presenti nella letteratura tecnica internazionale, di cui si mantiene la dizione internazionale non essendovi una strutturata letteratura italiana completa in materia:

- *Biofiltration Vegetated Systems* (Sistemi vegetati di biofiltraggio);
- *Filter Systems* (Sistemi filtro);
- *Bioretention Systems* (Sistemi di bioritenzione);
- *Permeable Pavements* (Pavimentazioni permeabili);
- *Infiltration trenches and basins* (Trincee e bacini filtranti);

- *Green Roofs* (Tetti verdi o giardini pensili);
- *Constructed wetlands / ponds / lagoons* (Aree umide artificiali).

Nella costruzione dei tre scenari è stata ipotizzata l'implementazione di diversi livelli di queste misure. Nel primo scenario, chiamato “*low engagement scenario*” (scenario a basso impegno), le misure di minor costo, minor impatto sociale sono state preferite, in un'ottica di affrontare le problematiche nell'indispensabile. Il secondo scenario, “*realistic scenario*”, il sistema di misure che si è ritenuto raccomandabile e realisticamente ipotizzabile, è stato invece costruito tenendo in conto le pratiche con la maggiore efficienza ambientale e i migliori rapporti costi-beneficio. Si è infine costruito un terzo scenario, “*greenest Tepic scenario*”, inserendo le pratiche con un maggior impatto ambientale, sul miglioramento degli ecosistemi e della vivibilità generale dei cittadini. È uno scenario che punta ad avere una Tepic con le caratteristiche delle maggiori capitali europee in materia di sostenibilità ambientale e migliore gestione delle acque urbane.

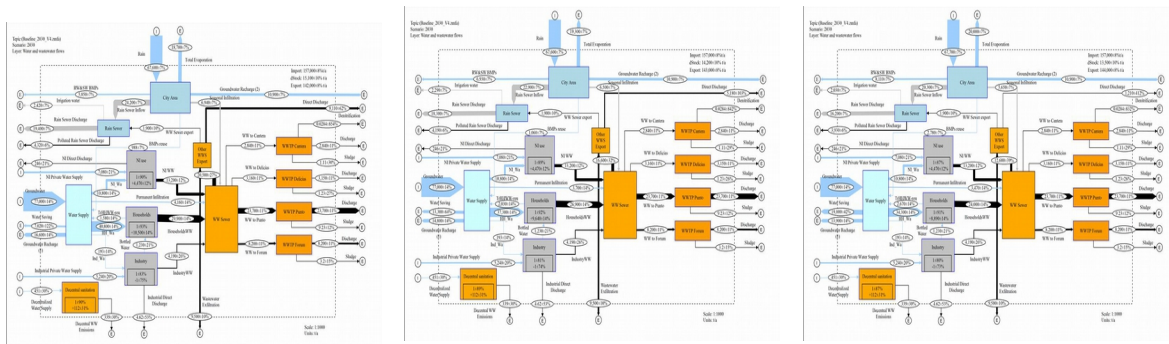


Immagine 2: Modello della Città di Tepic: Scenario 1, 2 e 3 (da sinistra a destra). Layer; . Acque.

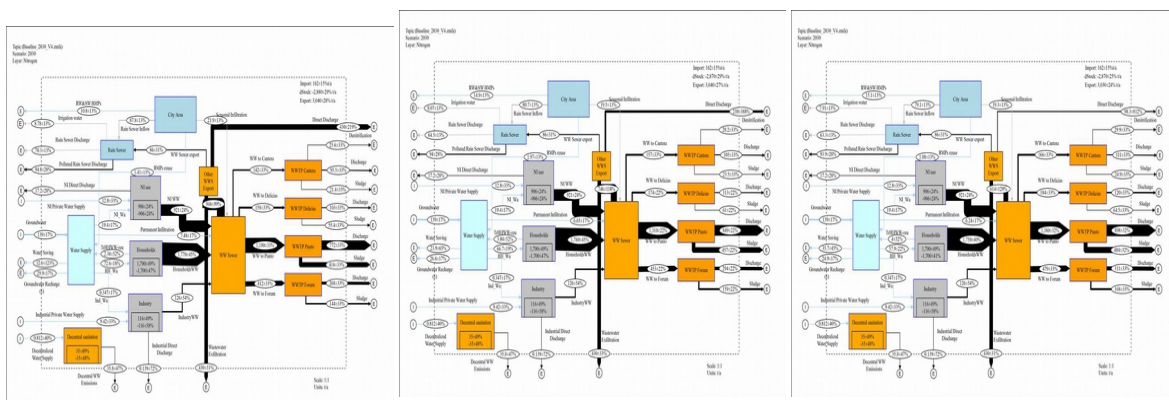


Immagine 3: Modello della Città di Tepic: Scenario 1, 2 e 3 (da sinistra a destra). Layer; . Azoto.

I principali risultati ottenuti nel confronto con lo Scenario 0 sono indicati nella tabella sottostante.

<i>Indice</i>	<i>Scenario 1</i>	<i>Scenario 2</i>	<i>Scenario 3</i>
Riduzione dotazione idrica richiesta	5%	13%	20%
Riduzione reflui domestici prodotti	9.6%	20%	27%
Riduzione raccolta acque meteoriche nel sistema di drenaggio urbano.	34%	38%	45%
Riduzione scarichi inquinati	23%	25%	30%
Aumento quota evapotraspirazione totale	113%	120%	131%
Aumento acque infiltrate o di ricarica della falda	29%	38%	47%
Aumento concentrazione inquinanti negli reflui domestici	11%	11%	9%
Aumento concentrazione inquinanti nelle acque di dilavamento superficiale	20%	17%	30%
Rimozione per trattamento di Azoto Totale	9%	13%	13%
Rimozione per trattamento di Fosforo Totale	8%	12.5%	12%

L'aumento generalizzato della concentrazione dei nutrienti nei flussi di reflui scaricati nel corpo idrico ricettore finale (il fiume Mololoa) consigliano di prevedere un ulteriore trattamento delle acque prima dello sversamento. È stato quindi modellato, a partire dallo Scenario 3 un trattamento dei flussi provenienti dal sistema di raccolta delle acque meteoriche, i flussi direttamente indirizzati allo scarico dal sistema fognario e, soprattutto, delle acque di prima pioggia (che contengono almeno il 10% in più di concentrazione di inquinanti rispetto il valore medio) che altrimenti andrebbero a impattare direttamente la qualità del fiume Mololoa. Dalla previsione di un sistema di filtraggio e un successivo sistema di area umida artificiale, si è ottenuta una riduzione del 55% del flusso idrico, un trattamento del 55% dell'Azoto totale e del 75% del Fosforo totale, arrivando a livelli di concentrazione minori e decisamente più sostenibili per il sistema fluviale, sotto le soglie previste dalle norme messicane.

I risultati ottenuti dai diversi scenari mostrano una sensibile variazione nella distribuzione delle acque meteoriche nei flussi di uscita dal sistema urbanizzato (evapotraspirazione, i diversi tipi di infiltrazione subsuperficiale e profonda, la raccolta nel sistema di drenaggio urbano e il riuso delle acque stesse) come illustrato nell'immagine 4. Si nota principalmente un sensibile aumento della percentuale di evapotraspirazione totale e la diminuzione della percentuale raccolta dal sistema di drenaggio urbano delle acque meteoriche. Infine, mentre la quota di ricarica della falda si riduce rispetto lo Scenario 0, la

quota totale di acque che si infiltrano nel sottosuolo aumenta sensibilmente.

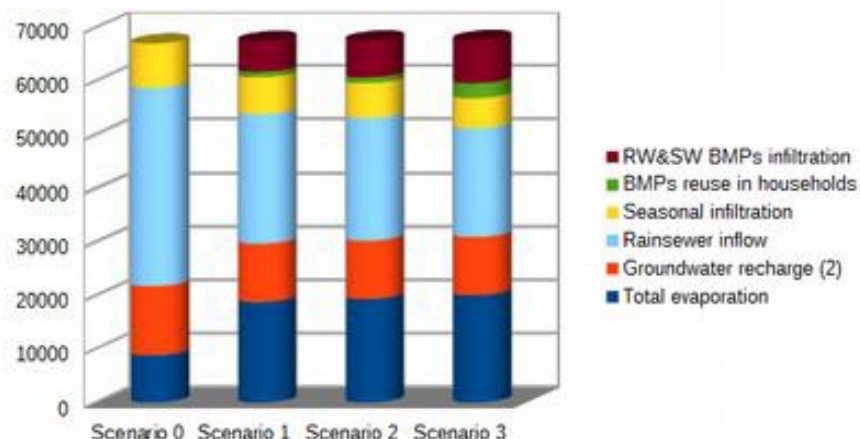


Immagine 4: Distribuzione delle acque meteoriche nei diversi outflow dell'area urbana.

Il confronto fra i cinque principali fattori presi in esame per la valutazione dell'efficacia nella gestione delle acque dei diversi scenari è mostrato nella Immagine 5. Appare evidente la progressiva sensibile riduzione del quantitativo di acqua necessaria da emungere dalla falda per la fornitura di acqua potabile alla città. Questo è dovuto al progressivo aumento del quantitativo di misure atte a ridurre il consumo di acqua in ambito domestico e al riuso di acque meteoriche. Analogamente è evidente la riduzione dei reflui prodotti in ambito domestico. Dal punto di vista delle misure di gestione delle acque meteoriche, invece, è sensibile la progressiva diminuzione delle acque raccolte dal sistema di drenaggio urbano e gli aumenti di evapotraspirazione e infiltrazione totale.

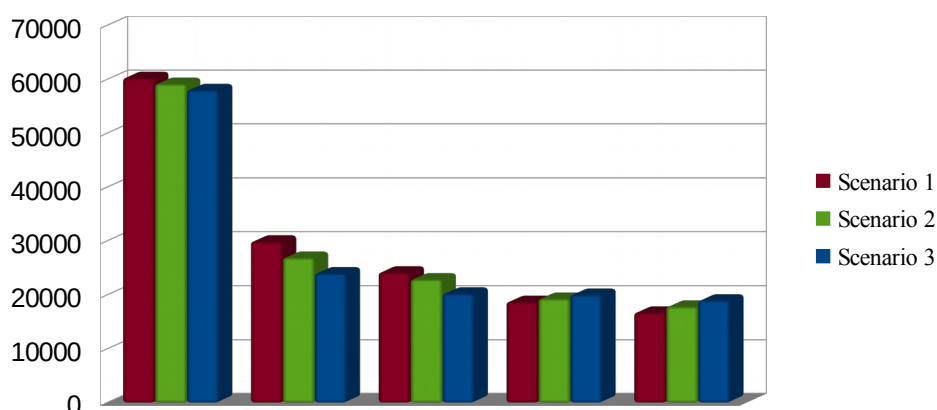


Immagine 5: Confronto dei principali fattori caratteristici degli scenari. Da sinistra: Emungimento netto da falda; Produzione di reflui domestici; Acque meteoriche raccolte dal sistema di drenaggio; Evapotraspirazione totale; Infiltrazione nel sottosuolo totale.

Dal confronto delle concentrazioni caratterizzanti i principali flussi analizzati per il confronto fra gli scenari si evince come il secondo scenario raggiunga i migliori risultati in termini di efficienza assoluta di rimozione degli inquinanti.

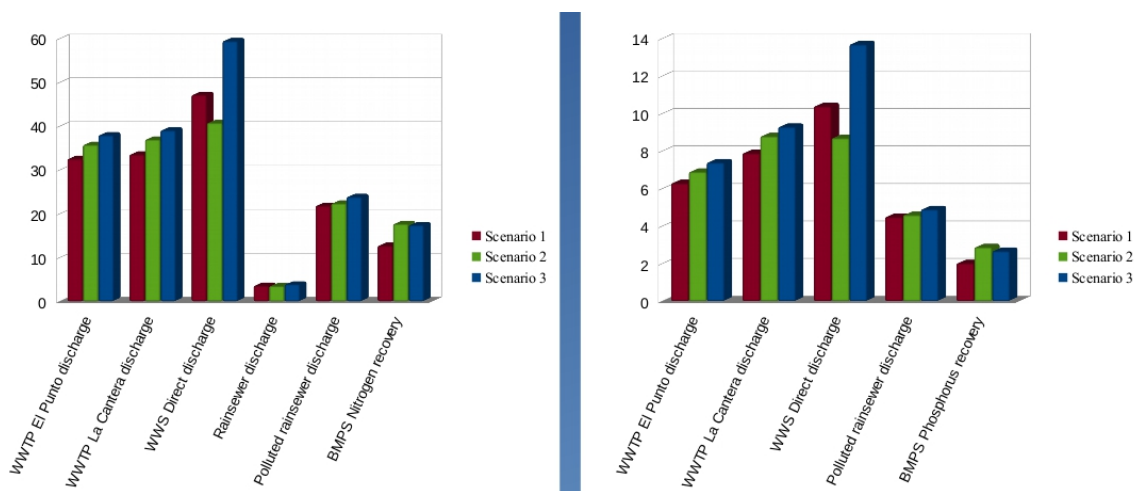


Immagine 6: Principali parametri sui Nutrienti: Concentrazione dei Nutrienti nei principali flussi di uscita dall'ambiente urbano e trattamento (rimozione) dato dalle BMPs.

I risultati del caso studio mostrano come l'applicazione di BMPs, SuDSs e WSUEPs e un approccio sostenibile e integrato potrebbe migliorare l'attuale gestione delle risorse idriche urbane, affrontando così l'aumento dell'urbanizzazione e della popolazione e sviluppando un impatto più sostenibile sull'ecologia del territorio nonché aumentando la resilienza del sistema urbano ai cambiamenti in corso e che delineranno le reali condizioni ambientali al 2030.

L'elemento principale che rappresenta l'ambiente naturale nel sistema urbano è il fiume Mololoa che è allo stesso tempo sia il ricettore di tutti gli scarichi della città che fonte di problematiche legate al rischio idraulico e all'inquinamento. Poiché quest'elemento è risultato essere un punto particolarmente debole dell'ambiente urbano, è stata condotta una specifica analisi di campo. Si è verificata l'esistenza di diverse fonti puntuali e diffuse di impatti sul sistema fluviale: agricoltura diffusa, scarichi civili e industriali, disturbi puntuali all'equilibrio geomorfologico, sedimentologico e idrologico lungo il corso del fiume a monte della città rendono lo stato del fiume già compromesso all'ingresso della zona urbana. Una ampia rettificazione del corso fluviale, diversi scarichi puntuali aumentano quindi gli impatti sul fiume e ne peggiorano lo stato. Infine, si sono quindi proposte misure specifiche indirizzate verso un approccio integrato di Riquilibrato Fluviale.

ABSTRACT [ENGLISH VERSION]

The adequate water management in urban areas plays a central role in the challenge of building a sustainable future. A proposal of Integrated Urban Water Management Plan has been developed for the City of Tepic, Nayarit, México in order to meet these challenges. This city (population 330,000 inhabitants) has a warm climate with abundant seasonal rains and moderate industrial and commercial activities. These conditions are common in numerous Latin American cities.

The suggested solutions proposed in IUWM Plan building were chosen according to Best Management Practices (BMP) on water use and wastewater management and according to Water-Sensitive Urban Environment Practices (WSUEP) for rainwater and stormwater management from the available technical literature in developed countries, as a result of a detailed specific literature review.

The objectives of the IUWMP were: saving water, improving water and wastewater management standards, preserving the natural water cycle in the urban area and having a more sustainable impact on the ecological resources of the territory in terms of the discharge of pollutants and of stormwater peak flows into the river.

The condition of the river Mololoa, which crosses the city and it is used for the wastewater discharges, is a current concern of the city. The river has been considered in the IUWMP under an approach of risk management and ecological river restoration.

The basis for the IUWM Plan was an integrated evaluation of the water use in the city by means of Material Flow Analysis. This tool was also used for the evaluation of the proposed improvement measures. The results of the case study show that the application of BMPs, WSUEPs and a sustainable and integrated approach could improve the actual urban water management, facing the growth of urbanization and population and having a more sustainable impact on the ecology of the territory.

ABSTRACT [DEUTSCHE FASSUNG]

Die ausreichende Wasserwirtschaft in urbanen Gebieten spielt eine zentrale Rolle in der Herausforderung des Aufbaus einer umweltverträglichen Zukunft. Dafür wurde ein Vorschlag für einen Integrierten Siedlungswasserwirtschaftsplan für die Stadt Tepic, Nayarit, Mexiko, entwickelt. Diese Stadt (aktuelle Bevölkerung 330.000 Einwohner) verfügt über ein warmes Klima mit reichlich Saisonregen und gemäßigte industrielle und kommerzielle Aktivitäten. Diese Bedingungen sind in zahlreichen lateinamerikanischen Städten verbreitet.

Die Lösungsvorschläge, die im IUWMs Plan vorgeschlagen wurden, wurden nach Best Management Practices (BMP) der Wassernutzung und des Abwassermanagement und nach wasserempfindlichen städtischen Umwelt Practices (WSUEP) für Regenwassermanagement auf Grundlage der verfügbaren Fachliteratur in den entwickelten Ländern ausgewählt.

Die Ziele des IUWMP waren: die Einsparung von Wasser, die Verbesserung der Wasser- und Abwassermanagement-Standards, die Erhaltung des natürlichen Wasserkreislauf im Stadtgebiet und eine umweltverträgliche Wirkung auf den ökologischen Ressourcen des Territoriums bezüglich des Abflusses von verunreinigenden Stoffen und von Regenspitzen in den Fluss.

Der Zustand des Flusses Mololoa, der die Stadt durchquert und für die Abwassereinleitungen verwendet wird, ist eine aktuelle Sorge der Stadt. Der Fluss wurde vom IUWMP unter Ansatz des Risikomanagements und ökologischer Flussrevitalisierungen berücksichtigt.

Die Grundlage für das IUWM-Plan besteht aus einer integrierten Bewertung des Wasserverbrauchs in der Stadt durch Stoffflussanalyse und die Software STAN. Dieses Werkzeug wurde auch für die Bewertung der vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen eingesetzt. Die Ergebnisse der Fallstudie zeigen, dass die Anwendung der BMPs, WSUEPs und eines umweltverträglichen und integrierten Ansatz könnte die aktuelle Siedlungswasserwirtschaft verbessern, mit einem Blick auf das Wachstum der Urbanisierung und der Bevölkerung und eine umweltverträgliche Wirkung der Ökologie des Gebiets.

ABSTRACT [VERSIÓN EN ESPAÑOL]

El manejo adecuado de las aguas en áreas urbanas juega un papel central en el reto de construir un futuro sustentable. Una propuesta de un plan integrado de manejo de aguas urbanas ha sido desarrollada para la ciudad de Tepic, Nayarit, México, en función de conocer estos retos. Esta ciudad (población 330,000 habitantes), tiene un clima cálido con abundantes lluvias estacionales y moderadas actividades industriales y comerciales. Estas condiciones son habituales en numerosas ciudades de Latinoamérica. La propuesta solución sugerida en el plan de construcción IUWM fue elegida de acuerdo a Best Management Practices, (BMP) en manejo de uso de aguas y manejo de aguas negras y de acuerdo a Water-Sensitive Urban Environment Practices (WSUEP), para el manejo de agua pluviales y agua de lluvia, de la literatura accesible en países desarrollados, como resultado de una revisión detallada de literatura específica.

El objetivo de IUWM Plan fue: cuidar el agua, implementando estándares de manejos de agua y aguas negras, preservando el ciclo natural del agua en áreas urbanas y teniendo un impacto ecológico más sustentable, en los recursos ecológicos del territorio en términos de descarga de agentes contaminadores y de las corrientes de aguas pluviales que caen dentro del agua. La condición del río Mololoa, el cual cruza la ciudad y es usado por el descargador de aguas negras. Es una actual preocupación para la ciudad. El río ha sido considerado por la IUWMP, bajo un aproximado de manejo de riesgo y restauración ecológica del río. La base para el plan de IUWMP fue una evaluación integrada del uso del agua en la ciudad, interpretado por el análisis de corrientes de materiales. Esta herramienta fue también usada para la evaluación por las medidas de mejora propuestas. El resultado del caso de estudio muestra que la aplicación de BMPs, WSUEPs y una aproximación integrada sustentable, puede mejorar el actual manejo de las aguas, enfrentando el crecimiento de la urbanización y población y teniendo un impacto más sustentable en el territorio ecológico.