

IL COVID-19 E LA GESTIONE DEI RIFIUTI SANITARI IN CONTESTI A BASSO REDDITO: PROPOSTE PER UN QUARTIERE INFORMALE DI MAPUTO

Sofia De Giorgi^{1,*}, Mario Grosso¹, Francesca Villa¹

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Sommario

La pandemia COVID-19 e le relative misure di contenimento hanno determinato delle conseguenze nella generazione dei rifiuti e nella loro gestione e smaltimento. Si sono riscontrati incrementi quantitativi dei rifiuti sanitari generati, variazioni nella composizione e nelle caratteristiche qualitative, soprattutto relative al grado di infettività, e un ampliamento spaziale del luogo di generazione, non più circoscritto esclusivamente alle strutture sanitarie. Nei Paesi a basso reddito tali cambiamenti hanno messo in crisi i sistemi di gestione già fragili e vincolati, laddove esistenti.

Inserito all'interno del progetto HANDS, finalizzato alla promozione della salubrità nel quartiere informale Chamanculo C di Maputo (Mozambico), questo studio presenta delle proposte di gestione dei rifiuti infettivi derivanti dalla pandemia da COVID-19, col fine ultimo di fornire indicazioni e raccomandazioni generalizzabili e replicabili in situazioni simili.

Non essendoci strutture sanitarie nel quartiere, il sistema progettato tiene conto dei flussi di rifiuti infettivi generati a livello comunitario da tutti gli abitanti: sono considerati quindi i dispositivi di protezione individuale usati (in particolare mascherine e guanti) e i rifiuti associati agli individui positivi o in isolamento preventivo.

Dopo un'analisi delle caratteristiche qualitative e quantitative dei flussi individuati, si presenta la progettazione del sistema di gestione, che comprende le fasi di prevenzione, raccolta, stoccaggio, trattamento di disinfezione e smaltimento finale. Tali fasi sono progettate tenendo conto delle buone pratiche già in atto e dei vincoli dati dal contesto, integrando la raccolta nel sistema esistente, e considerando un trattamento mediante triturazione e sterilizzazione che possa essere gestito a livello locale e decentralizzato. La proposta di intervento così elaborata si presta come riferimento in caso di situazioni che richiedessero un adattamento urgente del sistema di raccolta.

Parole chiave: *rifiuti; rifiuti infettivi; gestione dei rifiuti sanitari; pandemia COVID-19; Paesi a basso reddito.*

COVID-19 AND MEDICAL WASTE MANAGEMENT IN LOW-INCOME COUNTRIES: PROPOSALS FOR AN INFORMAL NEIGHBOURHOOD IN MAPUTO

Abstract

The COVID-19 pandemic and the related prevention measures affected waste generation and its management and disposal. In particular, infectious medical waste has assumed great importance: consequently, its management represents a relevant and current challenge, especially in vulnerable and resource-poor contexts.

During the pandemic period the medical waste generation increases in quantity, its composition and qualitative characteristics – especially related to infectivity – change and it is no longer limited exclusively to healthcare facilities, but includes a wider community area. In low-income countries, these changes have undermined the already fragile and basic management systems, where they exist, causing slowdowns in collection services, interruptions in recycling activities, overloading of hazardous waste treatment facilities and its inadequate disposal.

The HANDS project, in which this work is included, is aimed at the innovative and sustainable development of an informal neighbourhood in a low-income country to respond to the needs of the post-emergency period from COVID-19 pandemic, providing for a medium and long-term medical waste management system. In particular, in this paper, an infectious waste management system is proposed for Chamanculo C, the informal district of Maputo (the capital of Mozambique).

Analysing the current situation and the correct procedures for the infectious waste management, this research shows an application example of practices and interventions for the COVID-19 waste management in low-income countries, highlighting the good practices and providing recommendations that can be generalized and replicated in similar situations.

Since there are no health facilities in the neighbourhood, the designed system considers the infectious waste flows which are generated at the community level by all the inhabitants. The personal protective equipment used (in particular masks and gloves), infectious waste, related

* Piazza Leonardo da Vinci, 32. 20133, Milano. Tel 02.23996415. sofia.degiorgi@mail.polimi.it.

Ricevuto il 6-2-2023. Modifiche sostanziali richieste il 16-3-2023. Accettazione il 24-4-2023.

to COVID-19 positive patients in isolation in their own homes, and potentially infectious waste, related to people in quarantine who have come into contact with positive individuals, are the three waste flows generated in the neighbourhood, which have to be handled. After an analysis of the qualitative and quantitative characteristics of the identified flows, the waste management system planning is presented, which includes the stages of collection, storage, disinfection treatment, and final disposal.

Infectious and potentially infectious waste is collected together with a door-to-door collection system, performed with the same frequency, the same tools and by the same operators as the municipal solid waste collection in the district. In order to avoid cross-contamination, the waste flows must be kept separated, using different colours bags. This waste is transported by handcart to the storage site, which consists of a large container, where waste is accumulated before being moved to the treatment site, located in the health centre. The treatment consists of an integrated steam sterilization process and shredding, to obtain residues with a negligible infectious load and with a reduced volume. Finally, sterilized waste is disposed of in the landfill.

The waste deriving from PPE is generated by all the inhabitants of the neighbourhood. Therefore, the collection system consists of waste bins, placed in widely frequented and strategic points of the district. Only used PPE is collected in the containers provided, so that a highly specific waste flow is created, in order to optimize the subsequent phases of the management system. At the same

time, this collection way involves the population of the neighbourhood, who raise awareness of the topics relating to waste and COVID-19 contamination risks. The PPE waste bags are transported to the storage site, which is located in the health centre, with a frequency regulated by the MSW collection system, by the size of the intervention area, and by the quantity of containers placed in the neighbourhood. Also in this case, waste is treated by the steam sterilization and shredding process, keeping the two flows separated, because of their different final destination. In particular, PPE waste is integrated into the building materials production process, offering an alternative solution to landfill disposal.

Furthermore, alternative treatment is evaluated, if the economic, technological, and managerial constraints of the context are particularly restrictive. It consists of waste quarantine for a certain period, in order to eliminate the viral load of the SARS-CoV-2 virus.

Finally, there are also proposals applicable at the community level for the reduction of medical waste generation in the long term, replacing disposable masks with reusable and cloth ones. Therefore, the fabric masks management system is designed, consisting of the phases of collection, washing, drying, and re-distribution in the health centre.

Keyword: *waste; infectious waste, medical waste management; COVID-19 pandemic; low-income countries*

1. Introduzione

Con l'arrivo della pandemia COVID-19, la vita quotidiana e le abitudini dell'intera popolazione mondiale sono cambiate, comportando degli impatti di carattere sanitario, economico, sociale ed ambientale a larga scala. L'intensità di tali impatti è dipesa di volta in volta dal contesto: se in molti luoghi le autorità competenti hanno raccomandato e hanno messo in atto delle misure di contenimento, precauzionali in un'ottica di protezione sanitaria, in alcuni casi tali misure hanno esacerbato le criticità dei contesti più vulnerabili e dei ceti sociali più fragili.

Un esempio di questi impatti è legato ai rifiuti, che in seguito alla diffusione dei dispositivi di protezione individuale e ad altre procedure sanitarie hanno subito una variazione in termini qualitativi e quantitativi. Ne sono conseguiti la crisi dei sistemi di gestione e di raccolta (IFC, 2020) e l'aumento del volume dei rifiuti contaminati in discarica (Zand e Heir, 2020), maggiormente critici nei paesi a basso reddito, dove già normalmente gli standard di sicurezza nella movimentazione dei rifiuti sono carenti (UNEP, 2020).

In questo panorama si inserisce il progetto HANDS (Health AND urban Space), finalizzato alla promozione della salubrità nel quartiere informale di Chaman-culo C a Maputo, in Mozambico. L'obiettivo principale del progetto è rappresentato dalla progettazione di un sistema di produzione e distribuzione sul territorio di una soluzione disinfettante (la Polichina), con l'ipotesi che una maggiore accessibilità a livello locale a tale preparato possa contribuire al contenimento della diffusione del virus e al miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie. Considerando come la vulnerabilità sanitaria sia una questione complessa che richiede una visione ampia, multidisciplinare e olistica, nella quale i fattori ambientali, sociali, gestionali e sanitari sono strettamente interconnessi, a tale intervento ne sono stati associati altri, tra cui anche la gestione dei rifiuti sanitari generati nel quartiere nel periodo emergenziale pandemico, di cui tratta il presente articolo.

I numerosi studi sulla generazione dei rifiuti da COVID-19 esprimono raccomandazioni e suggerimenti per la loro corretta e sicura gestione, senza tuttavia presentarne l'applicazione a casi specifici (Adelodun

et al., 2021, Adusei-Gyamfi et al., 2022, Das et al., 2021, El-Ramady et al., 2021). Gli studi riguardanti gli impatti del COVID-19 nei contesti informali (Corburn et al., 2021; Duque Franco et al., 2020; Wilkinson et al., 2020), pur considerando anche i fattori sociali, economici e politici, si limitano a proporre forme di prevenzione e di contenimento della diffusione del virus in zone densamente abitate.

In questa trattazione si teorizza quindi una strategia di intervento per la gestione per i rifiuti derivanti dalla pandemia COVID-19 in un contesto specifico. La progettazione e il dimensionamento dell'intero sistema comprendono le fasi di prevenzione, raccolta, stoccaggio, trattamento e smaltimento finale dei rifiuti.

Mettendo in relazione la situazione attuale nel quartiere di Chamanculo C con le corrette pratiche di gestione, ed evidenziando inoltre le buone prassi già in opera (talora generalizzabili, replicabili e sostenibili), questa ricerca rappresenta una traccia per la pianificazione di interventi per la gestione di rifiuti infettivi, derivanti dal COVID-19 o da malattie analoghe, in Paesi a basso reddito, e particolare in contesti caratterizzati da condizioni igienico-sanitarie critiche.

1.1. I rifiuti infettivi

I rifiuti sanitari, definiti come la totalità dei rifiuti generati dalle strutture sanitarie (WHO, 2014), rappresentano una delle tipologie di rifiuti maggiormente pericolose (UNEP, 2018), e necessitano quindi di dedicate e specifiche modalità di gestione, trattamento e smaltimento.

La gran parte dei rifiuti sanitari pericolosi appartiene alla categoria dei rifiuti infettivi, definiti come materiale contaminato da microorganismi patogeni (batteri, virus, parassiti o funghi) in una quantità o concentrazione tale da far insorgere la malattia in coloro che ne vengono a contatto tramite inalazione, ingestione o esposizione cutanea. Questa categoria include i rifiuti contaminati con sangue o altri fluidi corporei, i rifiuti di pazienti infetti in isolamento, i dispositivi di protezione individuale (DPI) come mascherine, guanti, abiti e bendaggi contaminati e colture di agenti infettivi coltivati in laboratorio (WHO, 2014).

La pericolosità del rifiuto infettivo dipende dalle sue caratteristiche intrinseche: la potenziale infettività porta il rifiuto ad essere veicolo di malattie ed infezioni verso chi ne è esposto, come il personale sanitario e i lavoratori del settore dei rifiuti. La corretta gestione dei rifiuti infettivi, perciò, rappresenta una forma di prevenzione della diffusione di malattie generate dagli organismi patogeni. Al contrario, laddove i rifiuti non sono gestiti in maniera adeguata, sono abbandonati lungo le strade o smaltiti nelle discariche non controllate – come spesso accade nei Paesi a basso reddito

(Ali et al., 2017, Emilia et al., 2015) – tutta la popolazione risulta esposta ad alti rischi di contaminazione, aggravando le situazioni già vulnerabili da un punto di vista sanitario e sociale (WHO, 2014).

La gestione dei rifiuti infettivi si basa su una ben nota gerarchia. Per pianificare un sistema di gestione dei rifiuti idoneo al contesto di applicazione, si devono valutare vari fattori e vincoli: le caratteristiche qualitative e quantitative del flusso di rifiuti da trattare, il livello di sviluppo economico e tecnologico del contesto, la disponibilità di spazio e di risorse, gli impatti ambientali e sociali.

1.2. Il COVID-19 e i rifiuti infettivi

La pandemia COVID-19 è un'epidemia della malattia infettiva causata dal virus SARS-CoV-2, diffusasi in tutto il globo dalla fine del 2019 (dichiarata pandemia da marzo 2020 dall'OMS). Il principale mezzo di trasmissione è la particella liquida che viene emanata dalla bocca o dal naso del soggetto infetto, sintomatico o asintomatico, e inalata dal recettore. La principale sintomatologia consiste in difficoltà respiratorie, che possono essere piuttosto gravi nei soggetti fragili, richiedendo anche ricoveri in ospedale (WHO, 2023).

L'OMS e i governi dei singoli Paesi nel mondo hanno indicato delle procedure da seguire per contenere la diffusione dei contagi, quali mantenere la distanza interpersonale di sicurezza di almeno un metro, utilizzare una mascherina protettiva che copra naso e bocca, lavare frequentemente le mani con acqua e sapone o applicare del gel disinfettante a base alcolica. Nel caso in cui l'individuo inizi a mostrare dei sintomi, è fortemente consigliato l'isolamento fino alla guarigione. Dapprima, si raccomandava solamente agli operatori medico-sanitari e a tutti coloro che entrano in contatto con individui infetti l'utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI). Successivamente, molti Paesi hanno imposto l'obbligo dell'uso della mascherina nei luoghi pubblici per tutta la popolazione (WHO, 2022).

A causa della pandemia COVID-19 e delle relative misure di contenimento, la generazione di rifiuti sanitari ha subito una variazione in termini di quantità, composizione, distribuzione spaziale e grado di infettività. Data l'alta contagiosità del virus e le gravi implicazioni sanitarie associate, il numero di ricoveri ospedalieri è incrementato notevolmente, causando una crescita nella quantità di rifiuti sanitari prodotti, sia nei Paesi più ricchi sia in quelli più poveri (Das et al., 2021). Come già anticipato, i rifiuti generati dai pazienti infetti dal virus SARS-CoV-2 sono considerati infettivi, così come tutti i DPI. Aumentano anche i volumi di altre tipologie di rifiuti medici, come le siringhe, i tamponi, i contenitori in plastica di gel disinfettante, i bendaggi, i rifiuti associati ai test antigenici e mole-

colari e alle vaccinazioni anti-COVID-19 (Haque et al., 2021; Das et al., 2021). Inoltre, la generazione dei rifiuti infettivi non è più circoscritta esclusivamente alle strutture sanitarie, ma anche ai centri di quarantena e alle abitazioni di individui in isolamento positivi al virus (Sharma et al., 2020). I relativi rifiuti urbani sono da assimilarsi ai rifiuti infettivi e da trattarsi come tali (Haque et al., 2021).

Durante il periodo pandemico i rifiuti che assumono maggiore interesse e attenzione sono i DPI contaminati, a causa delle ingenti quantità generate e per i potenziali impatti negativi sulla salute umana e sull'ambiente (Nzediegwu and Chang, 2020). Le mascherine sono costituite da materiale polimerico (polipropilene e polietilene), che rappresenta un supporto per la crescita di microorganismi patogeni, come il virus SARS-CoV-2, in grado di sopravvivere fino a 9 giorni alle condizioni ambientali (Kampf et al., 2020). Se da un lato tali dispositivi proteggono dalla diffusione del virus tra due individui, dall'altro, se non sono opportunamente smaltiti, possono rappresentare un'altra via di contagio (Prata et al., 2020). Inoltre, il materiale polimerico contribuisce all'inquinamento da macroplastiche e microplastiche negli ecosistemi marini e costieri, causando danni all'ambiente anche a lungo termine (Prata et al., 2020).

Per la gestione dei rifiuti sanitari da COVID-19 prodotti dalle strutture sanitarie, le linee guida internazionali raccomandano di seguire le normali procedure per la gestione dei rifiuti infettivi. Per tutte le fasi della gestione dei rifiuti sanitari, è raccomandato che il personale sanitario e gli operatori ecologici siano equipaggiati di adeguati DPI, come mascherine, guanti, stivali in gomma, tuta da lavoro (UNEP, 2020). Per la gestione dei rifiuti generati dai soggetti positivi in isolamento nelle proprie abitazioni, è necessaria la separazione dei rifiuti contaminati, inclusi mascherine e guanti, da quelli non contaminati e la raccolta all'interno di un doppio sacchetto, su cui è segnalato che sono rifiuti COVID-19 (Sharma et al., 2020). Si raccomanda che i sacchetti, una volta chiusi e disinfettati, siano raccolti da servizi speciali per la raccolta di rifiuti infettivi e trattati come rifiuti ospedalieri dalle autorità locali (WHO, 2020; UNEP, 2020).

1.3. Impatti nei contesti a basso reddito

Le variazioni quantitative e qualitative dei rifiuti generati hanno aggravato le criticità dei sistemi di gestione in contesti già fragili, causando rallentamenti nei servizi di raccolta, interruzioni della attività di riciclaggio, sovraccarico delle strutture di trattamento dei rifiuti pericolosi e relativo smaltimento inadeguato (UNEP, 2020; IFC, 2020). Inoltre, la carenza di misure appropriate per la gestione di mascherine e DPI usati

determinano un aumento dei volumi di rifiuti infettivi nelle discariche, comportando anche la contaminazione dei rifiuti urbani (Zand e Heir, 2020). In generale, la potenzialità di trasmissione del virus aumenta in presenza di pratiche di gestione dei rifiuti inappropriate, dove le occasioni di contatto diretto coi rifiuti sono maggiori (Iyer et al., 2021), e con la messa in atto di alcune pratiche dannose per la salute umana e per l'ambiente: per esempio, in Nigeria è stato riscontrato che i raccoglitori informali tendano a cercare le mascherine smaltite nelle discariche e rivenderle per il riutilizzo (Benson et al., 2021); in Bangladesh, la scarsità di strutture che trattano i rifiuti sanitari ha portato i centri sanitari a bruciare i loro stessi rifiuti o a mischiarli con i rifiuti urbani non pericolosi (El-Ramady et al., 2021); va citato infine il rischio connesso alla pratica diffusa del riutilizzo delle bottiglie di plastica, se contaminate (Nzediegwu and Chang, 2020).

Lo sviluppo sociale, economico e tecnologico del continente africano richiede l'introduzione di un metodo di gestione dei rifiuti sanitari che sia sostenibile, cioè comprenda criteri di salvaguardia ambientale, coinvolgimento sociale e convenienza economica. Tuttavia, importare le soluzioni dai Paesi più tecnologicamente ed economicamente avanzati in contesti in via di sviluppo non rappresenta la scelta più conveniente per arrivare ai migliori risultati. Sorge, dunque, la necessità di sviluppare soluzioni alternative che emergano dalle esigenze locali, che coinvolgano le comunità e siano quanto più decentralizzate, flessibili e a piccola scala, con implicazioni facilmente gestibili con le risorse disponibili (Adusei-Gyamfi et al., 2022). È bene tenere conto delle pratiche sostenibili per la gestione integrata dei rifiuti già in atto in questi territori, quali la riduzione della produzione dei rifiuti, a partire dal limitato consumo legato allo stile di vita sobrio, l'utilizzo di mascherine lavabili e riutilizzabili e l'integrazione di sistemi informali nella gestione dei rifiuti.

2. Il caso studio e l'inquadramento del contesto

2.1. Il progetto HANDS

Il progetto HANDS (Health AND Urban Space) è uno studio di ricerca multidisciplinare finanziato all'interno del programma di responsabilità sociale del Politecnico di Milano Polisocial Award 2020, il cui scopo è promuovere soluzioni innovative a problematiche sociali.

Lo studio ha come obiettivo generale la promozione della salubrità a Chamanculo C, ed è incentrato sulla creazione di un "laboratorio sociale" dedicato alla produzione locale di una soluzione disinfettante e la sua distribuzione sul territorio tramite l'utilizzo di dispensers. In un contesto informale, si ipotizza co-

me tale intervento possa avere benefici nel breve e nel lungo termine, permettendo di affrontare non solo l'emergenza pandemica, ma di ridurre al tempo stesso la diffusione di altre malattie legate alle condizioni insalubri. Inoltre, una produzione locale caratterizzata da bassi costi potrebbe aumentare l'autonomia del quartiere rispetto ad aiuti esterni. La maggiore sfida consiste nel rendere il sistema progettato autosufficiente, sostenibile e replicabile.

Intorno a questo nucleo progettuale si sviluppano anche altre azioni: la progettazione di un sistema di gestione dei rifiuti sanitari associati al COVID-19, la creazione di un modello appropriato per la produzione energetica da fonti rinnovabili, a livello domestico e di comunità, e, infine, il trasferimento delle conoscenze tecniche ai lavoratori locali. Gli interventi, dapprima elaborati in modo autonomo, entreranno poi in sinergia tra loro, per rispondere in maniera olistica ad un problema complesso.

Lo studio ha visto la collaborazione tra cinque dipartimenti del Politecnico di Milano e altri quattro partners (incaricati degli aspetti gestionali, finanziari, socio-economici e procedurali). Ogni dipartimento ha contribuito secondo le proprie competenze. Il CMIC (Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica) è l'ideatore della Polichina, la soluzione disinfettante sviluppata e autoprodotta dal Politecnico di Milano nel 2020 per fronteggiare l'emergenza COVID-19; all'interno dello studio, il CMIC si è occupato di tutti gli aspetti produttivi, sviluppando un macchinario per la produzione del disinfettante secondo due possibili formulazioni (a base di etanolo o di isopropanolo) (WHO, 2010) e diverse possibili scale di intervento. Il DAS TU (Dipartimento di Architettura e Studi Urbani) e il DABC (Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito) si sono occupati dell'analisi urbanistica e della progettazione del laboratorio, e il DENG (Dipartimento di Energia) della sostenibilità energetica. Infine, il DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale) ha preso in carico gli aspetti relativi alla gestione dei rifiuti legati alla distribuzione del disinfettante e dei rifiuti infettivi, oggetto del presente articolo. Una delegazione dei cinque dipartimenti ha effettuato nell'ottobre del 2021 una missione a Maputo, svolgendo una raccolta dati sul campo anche grazie al supporto della ONG italiana AVSI. Il report finale è stato consegnato a febbraio 2023.

2.2. Area di intervento: Chamanculo C

L'area di intervento del progetto HANDS è un quartiere informale della capitale del Mozambico. Secondo il report sullo sviluppo umano del 2020 per il Mozambico (UNDP, 2020), il valore dell'indice di sviluppo umano (ISU) del Mozambico per il 2019 risulta pari a

0,456, posizionando il Paese nella categoria di basso sviluppo umano e ponendolo al posto 181 sui 189 Paesi considerati.

Chamanculo è un quartiere periferico di Maputo, abitato da circa 150.000 persone (secondo il censimento del 2017) e suddiviso in quattro aree, Chamanculo A, Chamanculo B, Chamanculo C e Chamanculo D. Il presente studio si focalizza su Chamanculo C: quest'area è caratterizzata da un'alta densità abitativa (circa 26.000 abitanti in 1,4 km²) e da standard di vita medio-bassi (Stretz, 2012). Da un punto di vista urbanistico, il quartiere si è sviluppato in maniera disordinata e non pianificata, è costituito principalmente da vicoli stretti ed è soggetto ad allagamenti nella stagione piovosa, rendendo difficoltosa la circolazione dei veicoli. L'accessibilità limitata ai servizi essenziali (come acqua potabile, rete fognaria e sistema di gestione dei rifiuti), la mancanza di strutture sanitarie e il sovraffollamento favoriscono la diffusione di malattie, correlate alle scarse condizioni igienico-sanitarie.

La pandemia COVID-19 e le relative misure precauzionali hanno aggravato le condizioni di vita, già critiche, degli abitanti del quartiere e, in particolare, delle categorie sociali più vulnerabili. Lavare le mani con acqua e sapone rappresenta una pratica semplice e basilare per mantenere un'adeguata igiene e per proteggersi dal COVID-19; tuttavia, nelle abitazioni e nelle strutture pubbliche del quartiere, l'accesso all'acqua corrente non è dovunque garantito. Ciò comporta che i luoghi dotati di acqua pulita e di servizi igienici risultino essere sovraffollati, apportando un maggiore rischio di diffusione del virus. La chiusura momentanea dei luoghi pubblici e la raccomandazione di mantenere la distanza interpersonale rendono impossibile l'isolamento dei malati nelle piccole abitazioni nei quartieri informali. Inoltre, la chiusura delle scuole, che garantiscono istruzione, salute e buone condizioni di vita degli studenti, ha determinato forti impatti negativi sulla vita quotidiana dei bambini. Come DPI, sono ampiamente diffuse le mascherine monouso, che in alcuni casi sono lavate e riutilizzate, e le mascherine di comunità, tessute in capulana, una stoffa tipica dell'Africa orientale. Il Dipartimento di Salute e Ambiente della città di Maputo ha avviato una sartoria sociale per la fabbricazione di mascherine in stoffa, in prevenzione ai grandi impatti negativi sugli ecosistemi marini e costieri.

2.3. Gestione dei rifiuti solidi urbani a Chamanculo C

Per l'intera città di Maputo la responsabilità della gestione dei rifiuti solidi urbani (RSU) ricade sulla Municipalità di Maputo, che si occupa della pulizia stradale, della raccolta dei RSU, della gestione opera-

tiva e della manutenzione della discarica di Hulene, che rappresenta il sito ufficiale di smaltimento finale, e dell'eliminazione dei siti di smaltimento illegali. Le attività di raccolta differenziata, riciclaggio e compostaggio sono lasciate al settore privato, spesso in collaborazione con la Municipalità. I produttori di rifiuti non urbani sono responsabili della loro gestione, con la mediazione di imprese private (Stretz, 2012).

I RSU generati e raccolti nel quartiere di Chamanculo hanno una composizione principalmente costituita dalla frazione fine (48,40%), in particolare cenere (il combustibile utilizzato per cucinare è la legna o il carbone) e sabbia, e dalla frazione organica (37,00%), seguite dagli imballaggi (12,6%), come plastica (6,60%), carta (3,20%) e vetro (2,80%). La restante parte è costituita da metalli (2,80%) e da articoli igienici (0,80%) (Stretz, 2012). Da un punto di vista quantitativo, si stima che il tasso di generazione dei RSU nel distretto sia pari a $0,49 \text{ kg ab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Dos Muchangos et al., 2017). Tale valore risulta inferiore a quello relativo ai quartieri del centro città ($1,15 \text{ kg ab}^{-1} \text{ d}^{-1}$), in cui le condizioni di vita degli abitanti sono migliori. Anche la composizione dei RSU mostra delle differenze, dovute dalla densità abitativa del quartiere, dalla presenza di servizi e attività commerciali o della ristorazione e dalla qualità della vita degli abitanti. Infatti, nel centro città i RSU sono costituiti prin-

cipalmente dalla frazione organica (63,70%) e dagli imballaggi (25,3%) (Stretz, 2012).

Per quanto riguarda la fase di raccolta, si stima una copertura del servizio superiore al 90% per l'intera città di Maputo, anche se tale valore può essere inferiore nelle periferie (Dos Muchangos et al., 2017). A Chamanculo C la raccolta dei RSU è organizzata in due passaggi: la raccolta primaria e la raccolta secondaria. Nella raccolta primaria i rifiuti sono conferiti con un sistema porta a porta, tramite l'utilizzo di carretti trasportati a mano (*tchovas*). Il quartiere è suddiviso in tre blocchi (A, B e C) e per ogni blocco la raccolta viene effettuata due volte a settimana, secondo la seguente programmazione (Fig. 1): lunedì e giovedì nel blocco A (giallo), martedì e venerdì nel blocco B (verde) e mercoledì e sabato nel blocco C (azzurro). I rifiuti raccolti sono trasportati e depositati in ampi containers, posizionati nel quartiere (Fig. 1), della capienza di 6-12 m^3 . Nella raccolta secondaria i tre containers, carichi di rifiuti, sono trasportati giornalmente da camion alla discarica di Hulene, dove vengono scaricati (Dos Muchangos et al., 2017, Stretz, 2012, HANDS, 2023). Gli operatori addetti alla gestione dei RSU sono equipaggiati con i DPI forniti dalla Municipalità, come mascherine, guanti e stivali.

I trattamenti di riciclaggio o compostaggio sono organizzati e gestiti da imprese private e associazioni, in

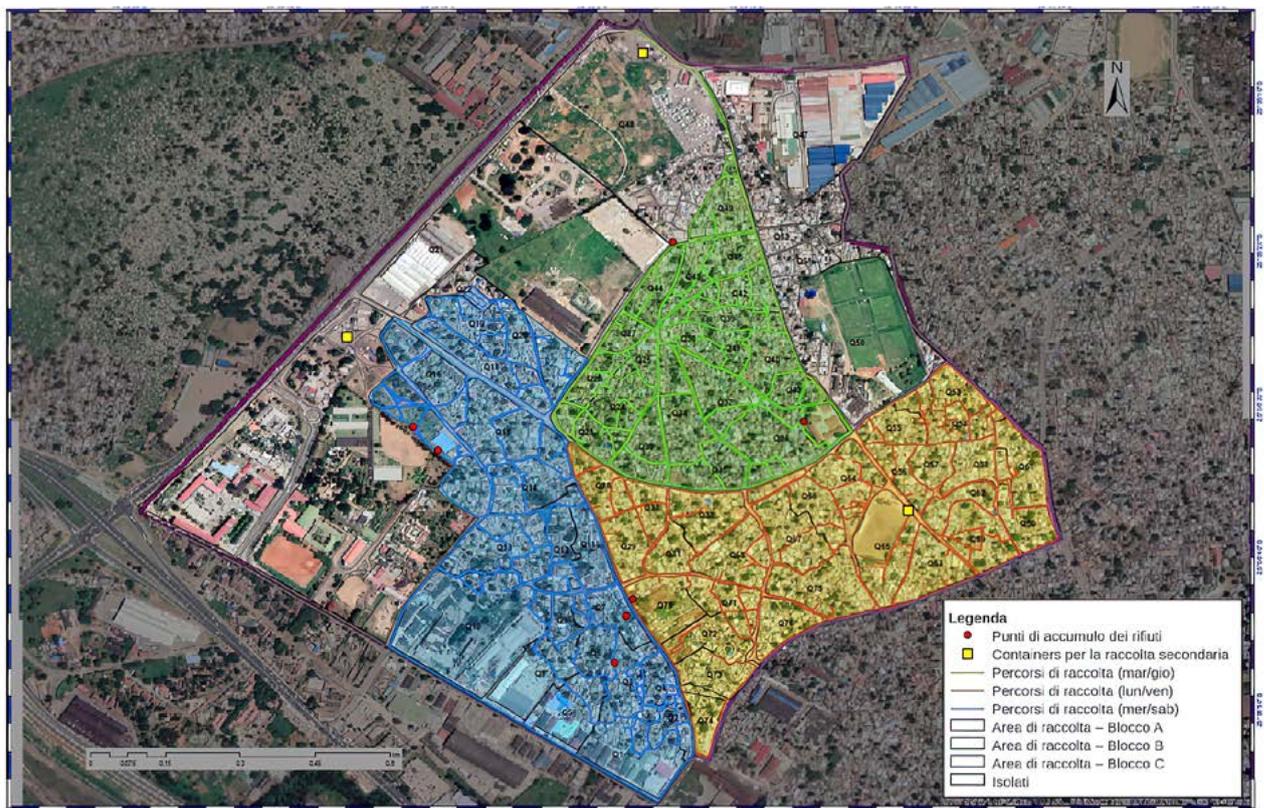


Figura 1. Suddivisione in blocchi per la raccolta primaria dei RSU a Chamanculo C e posizionamento dei containers per la raccolta secondaria (adattamento da AVSI, 2021).

collaborazione con la Municipalità. I materiali recuperati dai rifiuti, specialmente metalli, plastica, carta e cartone, vetro, RAEE e olio da cucina, sono venduti al mercato locale e internazionale (Dos Muchangos et al., 2017). Per esempio, l'impresa RECICLA compra i rifiuti in plastica, che sottopone a lavaggio e triturazione, per venderli successivamente a FACOBOL, un'impresa che si occupa della produzione di gomma, e a AGRIPLAS, un'azienda produttrice di plastica (AVSI, 2021). I raccoglitori informali, chiamati *catadores*, contribuiscono al sistema di riciclaggio, selezionando i materiali (metalli, plastica ed eccezionalmente vetro) nella discarica di Hulene o nei cassonetti lungo le strade del quartiere. L'attività dei *catadores* è generalmente individuale e competitiva (Allen e Joassias, 2011).

3. Materiali e metodi per il dimensionamento del sistema di gestione dei rifiuti sanitari

3.1. Contesto progettuale e scenari di intervento

Il principale obiettivo dello studio di ricerca consiste nella progettazione di un efficiente sistema di distribuzione della Polichina nel quartiere di Chamanculo C. Grazie all'uso della metodologia *IMM (Integrated Modification Methodology)* (Masera & Tadi, 2020), uno strumento di analisi urbanistica del territorio in grado di identificare le cause e la natura dei malfunzionamenti in un sistema urbano, il team DABC ha selezionato tre punti in cui potenzialmente posizionare il distributore di disinfettante. Tra i criteri di valutazione si considerano il massimo numero di abitanti raggiunti e

l'integrazione del dispenser nel contesto sociale, tramite la localizzazione in luoghi pubblici del quartiere. Nella Figura 2, per ognuno dei tre punti, sono state tracciate le linee isocrone che delimitano l'area attorno al sito di distribuzione, il cui tempo di raggiungimento a piedi arriva fino a 2 minuti e a 4 minuti. Inoltre, è mostrata anche la distribuzione della densità abitativa e della densità delle attività dell'area. In corrispondenza del sito 2 nella Figura 2, si trovano un ex centro di salute, ad oggi inutilizzato, un mercato e una scuola primaria.

Per la pianificazione del sistema di gestione dei rifiuti sanitari nel quartiere, si prende come punto di riferimento l'ex centro di salute, dato che i locali sono vuoti e potenzialmente utilizzabili ai fini del progetto, si inserisce in un contesto socialmente attivo e si colloca in una zona del quartiere densamente abitata e ampiamente frequentata. Pertanto, in fase di progettazione si valutano due scenari di intervento che si differenziano in base alla vastità dell'area di territorio che ricoprono e al bacino di utenza che usufruisce del servizio.

- Scenario 1: copertura dell'area intorno all'ex centro di salute, delimitata dalla linea isocrona relativa ai 4 minuti. Gli abitanti dell'area (circa 6482) sono i soli che beneficiano dei servizi pianificati di gestione dei rifiuti. Tutti gli interventi si effettuano solamente in quest'area.
- Scenario 2: copertura di tutto il quartiere di Chamanculo C, la cui popolazione è pari a circa 26.000 abitanti (dal censimento del 2017). Le fasi di raccolta e stoccaggio interessano tutto il territorio del quartiere, mantenendo nell'ex centro di salute quelle centralizzate.

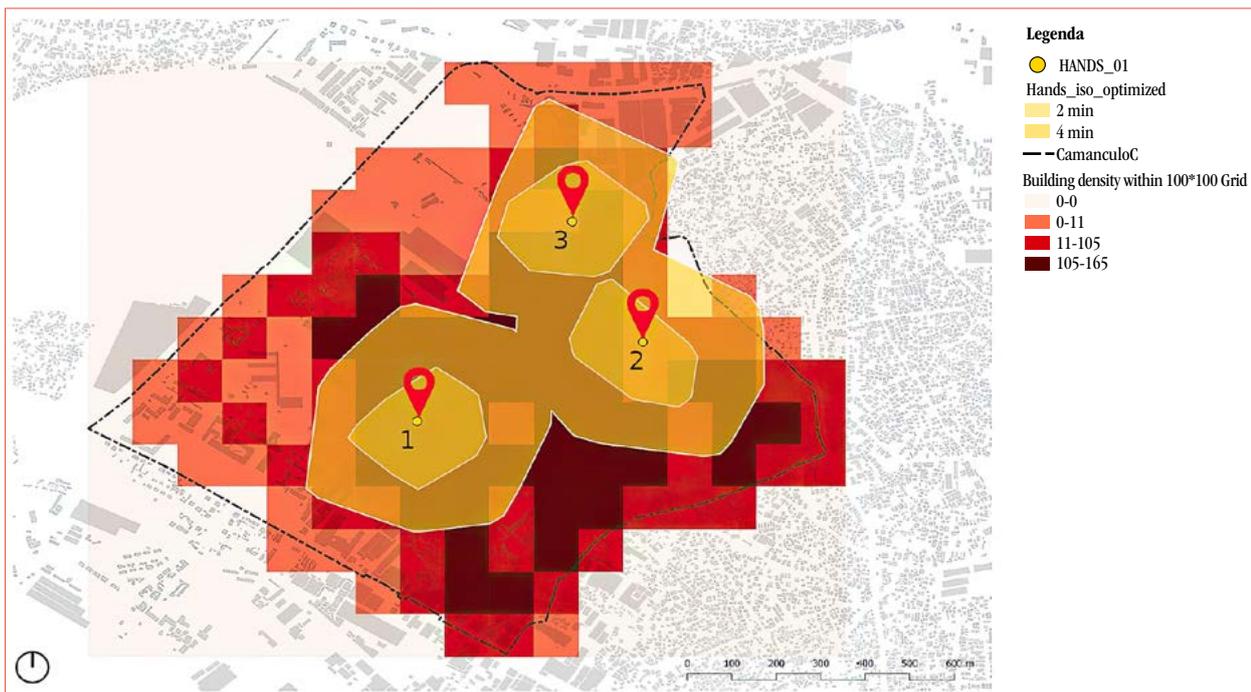


Figura 2. Analisi urbanistica del territorio di Chamanculo C (HANDS, 2023).

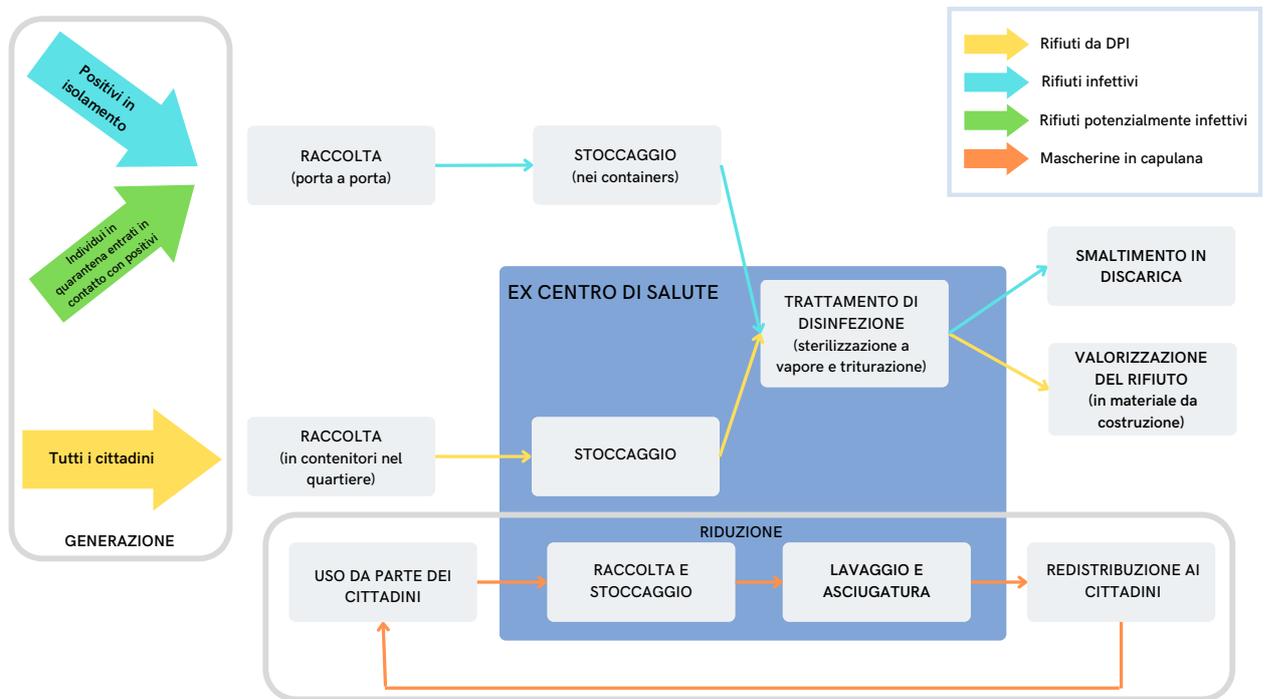


Figura 3. Diagramma di flusso.

3.2. Criteri di progettazione

Il sistema di gestione dei rifiuti sanitari è stato progettato seguendo le indicazioni per la gestione integrata dei rifiuti, nonché le linee guida internazionali e le buone pratiche per la gestione dei rifiuti infettivi durante la pandemia COVID-19. Anche i vincoli logistici, tecnologici, economici ed ambientali del contesto di applicazione sono stati tenuti in considerazione. In aggiunta, il continuo confronto con gli altri gruppi tematici coinvolti nella ricerca ha permesso di modellare una proposta che risponda alle esigenze del quartiere in ogni suo aspetto.

Il sistema finale è costituito dalle fasi di raccolta, stoccaggio, trattamento e smaltimento finale o valorizzazione del rifiuto, dimensionate per ciascuno dei flussi di rifiuti sanitari generati nel quartiere, come mostrato nel diagramma di flusso nella Figura 3. In particolare, le fasi sono progettate in modo diverso per le differenze tra i flussi di rifiuti, in base alle loro caratteristiche intrinseche di tipo fisico, merceologico e di origine. Nel diagramma di flusso è mostrato anche il sistema di gestione delle mascherine in stoffa, basato sul ritiro, trattamento e redistribuzione a livello centralizzato di quartiere. Di seguito nella trattazione, si illustrano le modalità di gestione e il dimensionamento di ciascuna fase nel dettaglio.

3.3. Generazione

Al fine di pianificare un efficiente sistema di gestione dei rifiuti, è necessario individuare i flussi che interessano l'area in esame e definirne le caratteristiche

quantitative e qualitative. A tale scopo è stato necessario ricorrere a dati di letteratura per sopperire alla mancanza di dati specifici, strategia spesso necessaria in contesti a basso reddito (Domini et al., 2018); quest'approssimazione è pertanto da considerare in fase di interpretazione.

Nel territorio di Chamanculo C non sono presenti ospedali, centri di salute, farmacie o altre strutture sanitarie. Pertanto, i flussi di rifiuti sanitari da gestire durante il periodo di pandemia COVID-19 consistono in quelli generati a livello comunitario:

- rifiuti infettivi, generati dai soggetti positivi al COVID-19 in isolamento nelle proprie abitazioni;
- rifiuti potenzialmente infettivi, generati dai soggetti in quarantena entrati in contatto con positivi;
- rifiuti da DPI, in particolare mascherine e guanti, generati da tutti i cittadini.

Dato che il quartiere manca di farmacie o altre strutture sanitarie, si è ragionevolmente ipotizzato che i rifiuti derivanti dai test diagnostici del COVID-19 non siano prodotti nell'area. Similmente, si assume che i rifiuti relativi alle vaccinazioni siano gestiti e smaltiti dagli enti responsabili della campagna vaccinale nel quartiere.

Si evidenzia come gli interventi precauzionali (isolamento e quarantena) determinino delle grandi variazioni della vita quotidiana, aggravando le condizioni di vita delle categorie sociali più vulnerabili, in particolare donne, bambini e anziani (Krauss et al., 2022). La decisione del governo del Mozambico di non ricorrere a un lockdown generale ha voluto quindi tutelare le famiglie più povere e vulnerabili, che avreb-

bero dovuto scegliere tra il rischio di contrarre il COVID-19 e la fame (Betho et al., 2022).

3.3.1. Generazione dei rifiuti infettivi

Come già anticipato, i rifiuti infettivi sono associati ai soggetti positivi sintomatici in isolamento nelle proprie abitazioni. Per gli individui malati e positivi al COVID-19, lo stato del Mozambico ha imposto l'obbligo dell'isolamento dalle altre persone per prevenire la diffusione del virus (CoM, 2020, MISAU, 2020). La composizione merceologica del rifiuto risulta molto simile a quella dei RSU, ipotizzando una maggiore produzione di rifiuti associati alla frazione degli articoli igienici necessari alla cura del malato. Infatti, si presuppone che tale frazione sia costituita da fazzoletti, salviette, prodotti da bagno e per l'igiene, garze e medicinali.

L'incremento relativo alla frazione degli articoli igienici è assunto pari al 500% (UNEP, 2020), in modo da stimare il tasso di generazione dei rifiuti infettivi, poiché i dati di letteratura su tale parametro non sono abbastanza dettagliati o generalizzabili ad ogni situazione e contesto (UNEP, 2020). Il valore stimato risulta pari a $0,51 \text{ kg persona}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (si ricorda che il tasso di generazione di RSU a Chamanculo è pari a $0,49 \text{ kg ab}^{-1} \text{ d}^{-1}$).

Grazie alle serie di dati epidemiologici della pandemia COVID-19, giornalieri e cumulativi (dal 6 febbraio 2021 al 27 marzo 2022), forniti dal portale del Ministero della Salute del Mozambico e riferiti sia al territorio nazionale sia alle singole province, si stima il numero totale di pazienti attualmente infetti in isolamento per la città di Maputo. Per Chamanculo C è sufficiente effettuare una proporzione considerando la popolazione della città di Maputo, pari a 1.101.170 abitanti secondo il censimento del 2017, e la popolazione dell'area presa in esame.

3.3.2. Generazione dei rifiuti potenzialmente infettivi

I rifiuti potenzialmente infettivi sono generati dagli individui in quarantena perché sono entrati in contatto con soggetti positivi, come già visto, e non hanno ancora accertato la loro positività al virus. Gli individui entrati in contatto con casi positivi e la cui positività non è ancora stata testata e accertata devono porsi in quarantena per un periodo (di norma 14 giorni) definito in base alla normativa vigente e deciso dall'autorità pubblica (MISAU, 2020, MISAU, 2021). Poiché non presentano alcun sintomo, si presuppone che la composizione dei rifiuti che producono non subisca una variazione qualitativa o quantitativa rispetto ai RSU, dei quali assumono anche il valore del tasso di generazione. In base a queste ipotesi, i rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi presentano

delle caratteristiche qualitative simili e una composizione altamente eterogenea.

Similmente al caso dei rifiuti infettivi, il numero di individui entrati in contatto con positivi è stato definito ricorrendo ai dati epidemiologici giornalieri e cumulativi disponibili e supponendo che il numero di contatti per ogni individuo infetto rimanga invariato nello spazio. In questo modo si ottiene l'andamento nel tempo della generazione di rifiuti potenzialmente infettivi per l'area interessata.

3.3.3. Generazione dei rifiuti da DPI

L'utilizzo di dispositivi di protezione individuale, soprattutto mascherine e guanti, rappresenta una delle misure più efficaci per prevenire la diffusione del COVID-19: a tutti i cittadini è raccomandato di indossare le mascherine facciali nei luoghi pubblici, soprattutto se affollati, sui mezzi di trasporto pubblici e in ogni situazione di incontro tra persone (MISAU, 2020). Nel quartiere di Chamanculo C, dunque, i rifiuti da DPI costituiscono un rilevante flusso di rifiuti sanitari a cui prestare attenzione, generato a livello comunitario e caratterizzato da una composizione altamente specifica e omogenea. Secondo la formula sviluppata da Nzediegwu e Chang (2020), utilizzata inizialmente solo per i Paesi Africani ma applicata poi a tutti i continenti (Tripathi et al., 2020), si stima il numero di mascherine e guanti utilizzati giornalmente dalla popolazione ($N_{\text{tot,giorno}}$). Nello specifico, la formula di Nzediegwu e Chang (2020) è stata sviluppata per la stima delle sole mascherine; lo studio di Chowdhury et al. (2022) ha esteso l'applicazione anche ai guanti monouso.

$$N_{\text{tot,giorno}} = \text{Pop}[ab] * \text{Popurb} [\%] * \\ * \text{Tassoaccettazione} [\%] * N_{\text{procapite, giorno}} (1)$$

Tale stima si basa su dati sito-specifici, come la popolazione (Pop) e la percentuale di popolazione urbana (Pop urb), nonché su parametri ipotizzati ragionevolmente al contesto di applicazione, quali il tasso di accettazione dei DPI e il numero pro capite giornaliero di DPI ($N_{\text{procapite,giorno}}$). In particolare, essendo Chamanculo C un quartiere urbano di Maputo, la popolazione urbana risulta pari al 100%. Si ipotizza un tasso di accettazione pari al 70% per le mascherine (Benson et al., 2021) e al 30% per i guanti (Chowdhury et al., 2022); tali assunzioni si basano su casi studiati in contesti simili a quello in esame. Si suppone l'utilizzo di una mascherina giornaliera pro capite (Benson et al., 2021) e di un paio di guanti a settimana pro capite.

Infine, si valuta che il peso medio di una mascherina risulta pari a 5 g (WHO, 2022), poiché si utilizzano prevalentemente mascherine chirurgiche rispetto a quelle FFP più pesanti, e quello di un guanto pari a 9 g.

3.4. Raccolta

La strategia di raccolta dei rifiuti non è la medesima per i tre flussi, poiché le modalità con cui sono generati, il grado di infettività, le caratteristiche fisiche e le destinazioni finali sono differenti. Pertanto, i rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi, che presentano delle peculiarità intrinseche molto simili, sono raccolti insieme, mentre per i rifiuti da DPI è previsto un sistema di raccolta dedicato, per una valorizzazione finale del rifiuto.

3.4.1. Raccolta dei rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi

Affinché si eviti l'aumento del rischio di diffusione del virus, è conveniente che la raccolta dei rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi – da qui in poi sarà considerato un flusso unico di rifiuti infettivi – avvenga con un sistema porta a porta, effettuata simultaneamente a quella dei RSU. Pertanto, la frequenza di raccolta si conferma essere di due volte a settimana, per ciascuno dei tre blocchi in cui è suddiviso il quartiere, come visto prima.

Sebbene la modalità di conferimento sia la stessa dei rifiuti urbani, questi flussi devono essere mantenuti separati: come misura preventiva dalla contaminazione, si utilizzano sacchi di raccolta di colore differente e specifico per la tipologia di rifiuto, forniti dalle autorità pubbliche, su cui è preferibile che sia posta un'etichetta con la segnalazione "rifiuti COVID-19". Inoltre, al momento del conferimento, l'operatore addetto deve disinfettare il sacco con una soluzione a base alcolica (80% etanolo o 75% 2-propanolo), come raccomandato dalle linee guida internazionali.

Gli operatori addetti alla raccolta devono essere opportunamente equipaggiati con DPI in buone condizioni ed istruiti sulle modalità della raccolta di rifiuti infettivi, sulle accortezze da seguire e sui rischi di contaminazione.

Si presuppone che i RSU siano raccolti in sacchi a livello familiare, considerando che ogni famiglia di Chamanculo sia composta da un valore medio di 4,45 persone (dai dati del censimento del 2017). Al contrario, i rifiuti infettivi sono separati dagli elementi non contaminati, perciò la raccolta è effettuata dal singolo individuo positivo. Ipotizzando che la densità apparente dei rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi sia uguale a quella dei RSU (pari a 490 kg m^{-3} secondo lo studio di Dos Muchangos et al., 2017), si considerano i sacchi di raccolta con una capacità di 30 L e un grado di riempimento dell'80% per effettuare un confronto sul numero di sacchi necessari per la raccolta dei rifiuti tra il periodo pandemico e precedente e per quantificare la disponibilità di sacchi da fornire ogni giorno di raccolta. Inoltre, si valuta il tempo necessario per il riempimento del sacco da parte degli individui positivi.

Infine, i rifiuti raccolti sono trasportati al sito di stoccaggio, situato in corrispondenza dei container per la raccolta secondaria dei RSU.

3.4.2. Raccolta dei rifiuti da DPI

Per i rifiuti da DPI si prevede un sistema di raccolta dedicato: i cittadini conferiscono direttamente i loro DPI usati in appositi contenitori, posti in luoghi pubblici e frequentati del quartiere. Tale modalità di conferimento presenta numerosi vantaggi: si garantisce un minor rischio di abbandono dei DPI lungo le strade e la conseguente riduzione dell'inquinamento da plastica nei mari; si offre una maggiore possibilità di recupero di materiale e valorizzazione del rifiuto a valle del trattamento, limitando la quantità di rifiuti smaltiti in discarica, grazie alla formazione di un flusso costante, altamente specifico e omogeneo; infine, tutti i cittadini sono coinvolti nella gestione dei rifiuti che producono, sono informati e sensibilizzati sulle tematiche relative ai rifiuti alla contaminazione da COVID-19. La progettazione di questa fase consiste nella determinazione della quantità e delle caratteristiche qualitative dei sacchi di raccolta, nonché nella quantificazione, selezione della tipologia e localizzazione dei contenitori e, infine, nella pianificazione delle modalità di raccolta dei sacchi e trasporto al sito di stoccaggio, in base alla frequenza di raccolta selezionata.

Ipotizzando un valore di densità apparente di 200 kg m^{-3} (WHO, 2022) per i rifiuti da DPI, si considerano i seguenti elementi, per i sacchi di raccolta:

- capacità di 120 L;
- grado di riempimento dell'80%;
- colore specifico.

I contenitori di raccolta presentano le seguenti caratteristiche:

- capacità di 120 L (per praticità, uguale a quella del sacco);
- dotazione di coperchio, per favorire l'isolamento del rifiuto dall'ambiente esterno, e apertura con pedale, per evitare quella manuale;
- in plastica rigida (per esempio, HDPE), perché resiste agli agenti atmosferici, non assorbe liquidi, non è attaccabile dai parassiti ed è lavabile e sterilizzabile;
- colore specifico e opportuna segnaletica che indica il materiale da raccogliere.

Il trasporto dei sacchi pieni verso l'ex centro di salute, dove è predisposta l'area di stoccaggio, è operato dagli operatori addetti dotati di carretti a mano, che rendono più agevole il trasporto di sacchi voluminosi. I contenitori per la raccolta e i carretti a mano devono essere lavati e disinfettati dopo ogni utilizzo per garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori.

3.5. Stoccaggio

La fase di stoccaggio disconnette l'andamento temporale del trattamento da quello relativo alla raccolta. Inoltre, il sito di stoccaggio rappresenta un punto di accumulo sicuro per i rifiuti, durante i picchi delle ondate dei contagi.

3.5.1. Stoccaggio dei rifiuti infettivi

Il dimensionamento del volume di stoccaggio per i rifiuti infettivi è calcolato in modo tale da compensare un flusso in ingresso variabile (rifiuti generati, con relativi picchi) e un flusso in uscita costante (rifiuti avviati al trattamento). Si considerano quindi le quantità giornaliere di rifiuti in ingresso alla fase di stoccaggio, dipendenti dalle ondate dei contagi da coronavirus e pari alla somma della produzione giornaliera di rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi, e la quantità giornaliera di rifiuti in uscita allo stoccaggio, pari a quella trattata giornalmente nel processo di disinfezione, ipotizzata costante e corrispondente al valore medio della serie di dati in ingresso (Fig. 4). Con questa metodologia si calcola il volume massimo di rifiuti da accumulare, a cui corrisponde – per ipotesi progettuale – il volume di stoccaggio.

In base al sistema di raccolta progettato, il sito di stoccaggio per i rifiuti infettivi si trova in corrispondenza dei containers per la raccolta secondaria dei RSU (Fig. 1). Si prevede l'utilizzo di contenitori chiusi da 12 m³, su cui apporre un'adeguata segnaletica per distinguerli da quelli per i RSU.

Infine, il trasporto giornaliero dei rifiuti dal sito di stoccaggio all'ex centro di salute, dove avviene il trattamento di disinfezione, è supportato dall'utilizzo dei carretti a mano, aventi una capienza circa di 250 kg di rifiuti.

3.5.2. Stoccaggio dei rifiuti da DPI

Il dimensionamento del volume di stoccaggio dei rifiuti da DPI si basa sulla stessa metodologia utilizzata nel caso dei rifiuti infettivi, sebbene si valutino alcune differenze nelle modalità di alimentazione. Infatti, l'andamento nel tempo delle quantità di rifiuti in ingresso alla fase di stoccaggio dipende dalla modalità e dalla frequenza di raccolta.

In particolare, l'area relativa allo scenario 1 è caratterizzata da 4 giorni a settimana di raccolta in due blocchi differenti (Fig. 5a): in questi giorni si raccoglie la stessa quantità di rifiuti, pari alla produzione settimanale distribuita su 4 giorni. Nello scenario 2 (Fig. 5b) il volume in ingresso allo stoccaggio è pari alla quantità di rifiuti da DPI prodotta settimanalmente distribuita su 6 giorni; infatti, la raccolta avviene complessivamente 6 giorni a settimana. Invece, per la valutazione delle quantità di rifiuti in uscita dallo stoccaggio, si considera che il trattamento funzioni tutti i giorni della settimana, disinfectando una quantità costante di rifiuti, pari alla produzione media giornaliera nell'area considerata. Si individua il volume massimo necessario allo stoccaggio, che viene aumentato di un fattore di sicurezza pari a 1,2.

Lo stoccaggio dei rifiuti da DPI è situato nei locali dell'ex centro di salute. L'accesso al sito è permesso solo al personale addetto e consiste in un contenitore in cui accumulare i sacchi di rifiuti oppure un'area che abbia una superficie facilmente lavabile.

3.6. Trattamento

3.6.1. Trattamento ottimale: sterilizzazione con vapore

Come evidenziato dai risultati dello studio di Voudrias (2016), la disinfezione a vapore risulta essere l'op-

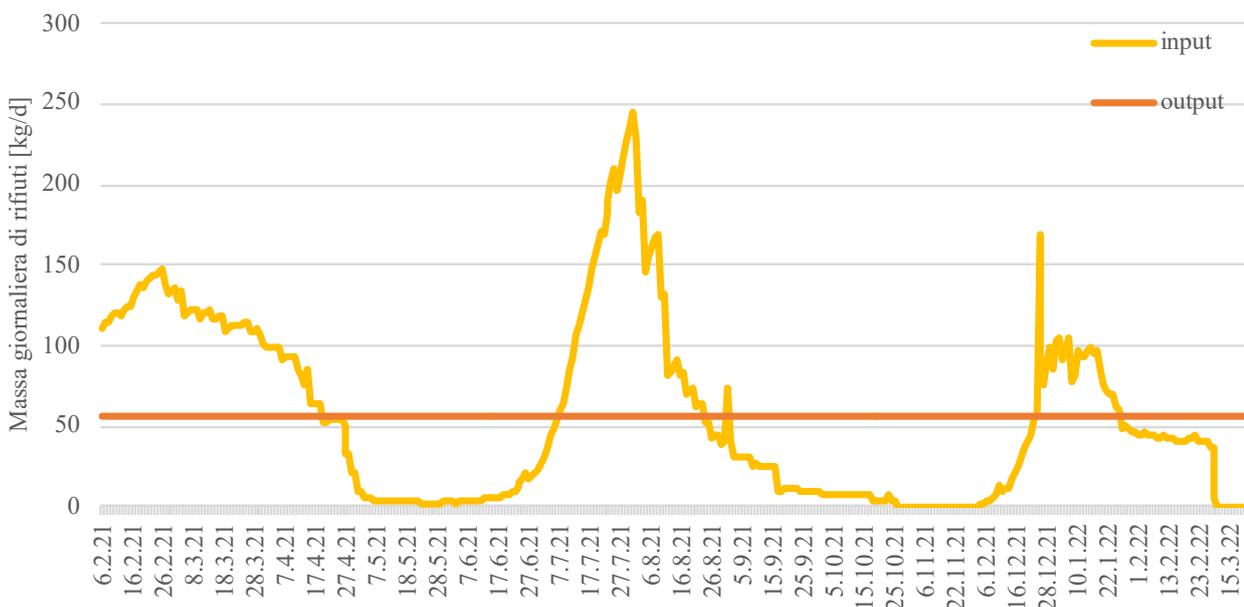


Figura 4. Quantità di rifiuti infettivi in ingresso e in uscita allo stoccaggio per lo scenario 1.

zione migliore per il trattamento dei rifiuti infettivi, da un punto di vista tecnico, ambientale, economico e sociale. Asim et al. (2021) raccomanda l'uso di un macchinario che opera la sterilizzazione con vapore e la simultanea triturazione dei rifiuti. Come esempio applicativo, sono stati considerati i modelli della compagnia Celitron, in modo da comprenderne il funzionamento, le condizioni operative e la capacità di trattamento.

Questo macchinario, *Integrated Sterilizer and Shredder* (ISS), è in grado di trattare rifiuti infettivi, come materiali soffici, mascherine e guanti, rifiuti anatomici e patologici e rifiuti taglienti. Non richiede specifiche competenze tecniche, grazie alla sua semplicità gestionale. Il processo è efficiente e facilmente adattabile in qualsiasi contesto di installazione. Garantisce una riduzione di volume del 20% senza l'emissione di so-

stanze pericolose. Infine, la triturazione dei rifiuti aiuta a prevenire la raccolta illegale e il riuso di DPI.

La triturazione e la sterilizzazione con vapore dei rifiuti infettivi avvengono in un unico vessel e il processo operativo si compone di cinque fasi.

- Carico dei rifiuti: i rifiuti sono caricati nella camera senza la necessità di aprire i sacchi precedentemente, con la garanzia di evitare il contatto con il materiale contaminato o potenzialmente contaminato.
- Creazione del vuoto: l'aria viene rimossa dalla camera attraverso un filtro e con l'ausilio di una pompa a vuoto.
- Riscaldamento per la sterilizzazione: il vapore è introdotto nella camera fino a raggiungere la temperatura e la pressione di sterilizzazione, pari rispettivamente a 134°C e 312 kPa. Il vapore è prodotto internamente da un generatore di vapore,

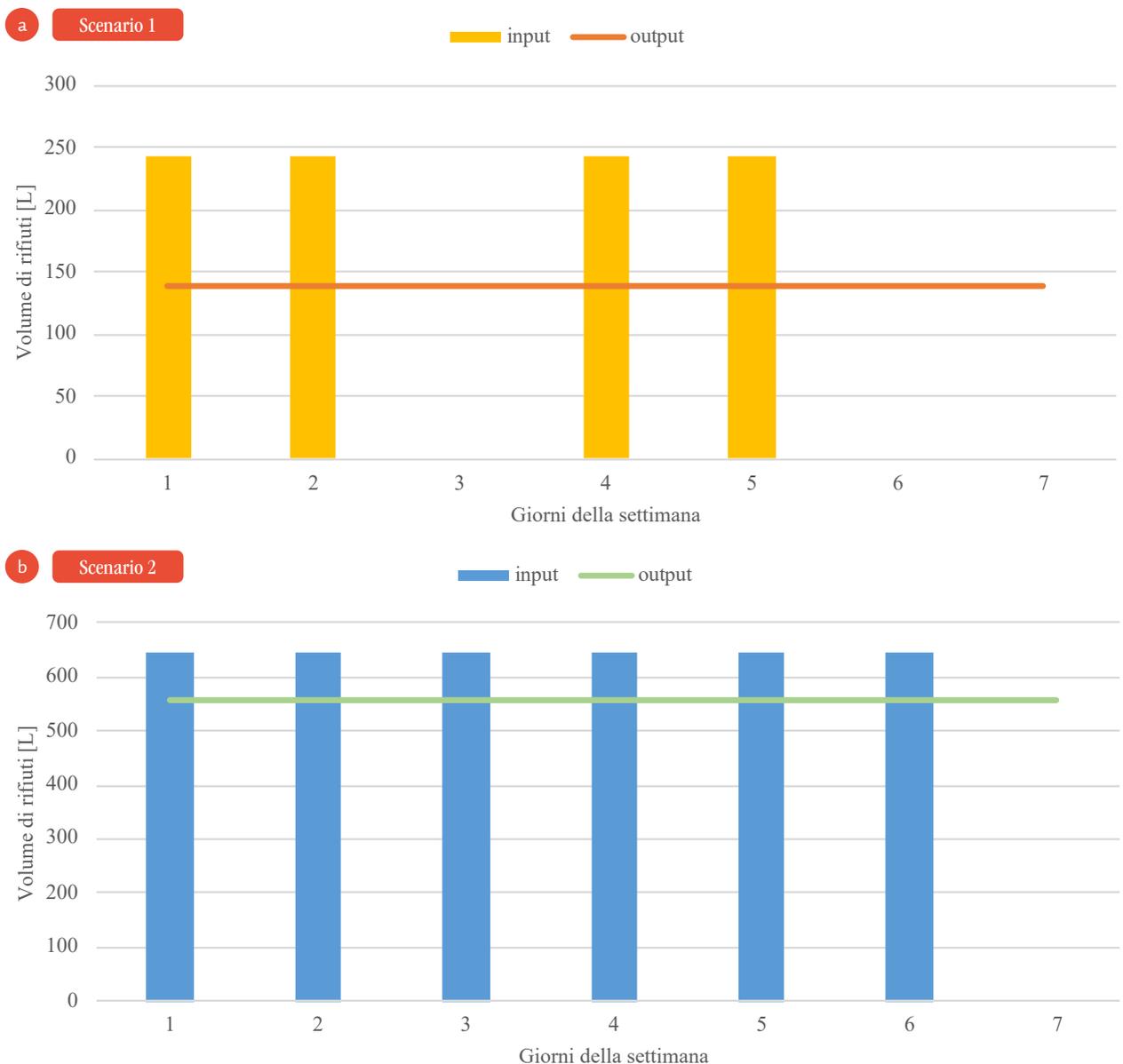


Figura 5. Quantità di rifiuti da DPI in ingresso e in uscita allo stoccaggio: (a) Scenario 1 e (b) Scenario 2.

alimentato da un sistema di purificazione e drenaggio dell'acqua. Contemporaneamente avviene la triturazione dei rifiuti: il vessel è dotato di un albero motorizzato (velocità di rotazione varia tra 400 e 1700 RPM) con lame per la triturazione e la frantumazione, per ridurre la dimensione e il volume totale dei rifiuti fino al 20% del volume originale. Le lame sono in grado di tritare anche oggetti taglienti, siringhe, carta, tessuti e stoffe, plastica e vetro.

- d. Sterilizzazione: quando viene raggiunta la temperatura di 134°C, inizia la sterilizzazione che dura almeno 3 minuti. Successivamente il vapore viene rimosso dalla camera e avviene il processo di essiccazione.
- e. Scarico dei rifiuti: i rifiuti sterilizzati sono rimossi dalla camera. Questi si presentano frammentati, non tossici, solidi e secchi e possono essere smaltiti come RSU.

Nel caso in esame, è applicato lo stesso trattamento di disinfezione sia per i rifiuti da DPI sia per i rifiuti infettivi, ma i due flussi sono trattati separatamente, perché seguiranno destinazioni finali differenti.

Secondo il catalogo della compagnia Celitron sono disponibili tre modelli di macchinario, che si differenziano per la capacità di trattamento. Pertanto, per selezionare il modello più adatto allo schema progettato, si confronta il volume di rifiuti da gestire con quello che il modello del macchinario riesce a trattare, per entrambi gli scenari. La scelta per ciascun scenario e le caratteristiche tecniche dei modelli di Celitron sono mostrate nella Tab. 1.

Selezionato il modello di macchinario, si stabilisce, con precisione, il numero di cicli giornalieri da effettuare, per entrambi i flussi di rifiuti. Tenuto conto della durata del ciclo, riportata nelle caratteristiche tecniche del macchinario, e ipotizzato il tempo necessario per la fase di carico e scarico dei rifiuti dalla camera, si determina anche la durata totale di lavoro giornaliero.

3.6.2. Trattamento alternativo: la quarantena

Qualora i vincoli tecnici ed economici non permettessero l'installazione e applicazione della tecnologia di sterilizzazione a vapore nel quartiere di Chamanculo C, si è ipotizzato un sistema di quarantena dei rifiuti COVID-19, come trattamento alternativo, col fine di mettere in sicurezza i rifiuti infettivi e assicurare la protezione minima dalla diffusione del virus SARS-CoV-2 per mezzo dei rifiuti contaminati. Infatti, il virus SARS-CoV-2 ha un limite di sopravvivenza sulle superfici, che può variare da 2 a 9 giorni in base alle condizioni ambientali e alle caratteristiche fisiche del materiale di supporto (Kampf et al., 2020).

La quarantena consiste quindi nello stoccaggio di un volume di rifiuti per un periodo di tempo superiore ai 9 giorni senza l'aggiunta o la rimozione di alcuna quantità. Questo dovrebbe garantire l'eliminazione del virus SARS-CoV-2, mentre ulteriori approfondimenti si rendono necessari per evitare la proliferazione di altri patogeni.

A monte della quarantena sarà poi necessario riadattare il sistema di raccolta e stoccaggio dei rifiuti generati nel quartiere. Per inviare i rifiuti raccolti direttamente nei contenitori per la quarantena, la frequenza di raccolta dei rifiuti infettivi, potenzialmente infettivi e da DPI si riduce da due a una volta a settimana, mantenendo i giorni fissati per la raccolta dei RSU nei tre blocchi. Dopo la fase di raccolta, i sacchi di rifiuti contaminati sono posti all'interno dei containers e lasciati in quarantena per almeno nove giorni. Alla fine di questo periodo, i containers vengono svuotati e i rifiuti proseguono verso la loro destinazione finale. L'intero ciclo di stoccaggio dura 11 giorni (per lo scenario 1) o 12 (per lo scenario 2), aggiungendo il tempo necessario per la pulizia e disinfezione dei contenitori al termine di ogni ciclo.

L'uso alternato di due contenitori per la quarantena permette di effettuare la raccolta una volta a settimana, evitando di ridurre ulteriormente la frequenza di raccolta una volta ogni 12 giorni, che comporterebbe un

Tabella 1. Caratteristiche tecniche del macchinario ISS (Celitron, 2022).

	Scenario 1 ISS 25 L	Scenario 2 ISS AC-575
Volume della camera (L)	25	150
Dimensioni esterne (W x H x D) in mm	1070 x 1025 x 725	1290 x 2150 x 2039
Peso (kg)	280	880
Alimentazione elettrica	3-Ph, 380-400 V, 50/60 Hz	3-Ph, 380-400 V, 50/60 Hz
Potenza con il generatore di vapore (kW)	12	36
Consumo energetico medio per ciclo (kWh)	1,7 kWh (1)	7-9 kWh (2)
Durata del ciclo (min)	15	25

Note: (1) Celitron (2023a). (2) Celitron (2023b).

aumento del numero di contenitori per la raccolta dei rifiuti da DPI nel quartiere e il rischio di abbandono illegale lungo le strade. I contenitori, preferibilmente chiusi e ben segnalati, sono posti in corrispondenza dei containers per la raccolta secondaria dei RSU.

3.7. Destinazione finale

La separazione dei flussi di rifiuti in tutte le fasi del sistema di gestione garantisce la differenziazione dei destini che i due flussi seguiranno. I rifiuti infettivi, con una composizione eterogenea, saranno smaltiti nella discarica di Hulene dopo la sterilizzazione. Al contrario, i rifiuti da DPI, la cui composizione è altamente specifica e le cui caratteristiche fisiche e chimiche sono omogenee, potrebbero essere integrati nella produzione di mattoni o altro materiale da costruzione (Asim et al., 2021). Per l'implementazione del processo di recupero occorrerebbe coinvolgere le imprese edili e civili del territorio, con cui bisognerebbe interfacciarsi per valutarne le capacità tecniche e la disponibilità ad avviare questo processo tecnologico innovativo. Questo sviluppo appare possibile in quanto in prossimità dell'ex centro di salute è situata un'impresa produttrice di mattoni, che potrebbe essere facilmente coinvolta.

3.8. Riduzione della generazione: mascherine di comunità in capulana

Come già anticipato, il Dipartimento di Salute e Ambiente di Maputo ha avviato delle sartorie sociali per la fabbricazione di mascherine di comunità in capulana, per favorirne l'integrazione e l'uso nel quartiere. Questa scelta rappresenta una soluzione sostenibile da un punto di vista sanitario, ambientale, economico e sociale. Infatti, si previene la diffusione del virus, si riduce l'utilizzo di mascherine monouso e la conseguente produzione di rifiuti nel medio e lungo termine e, infine, tali mascherine sono economicamente accessibili anche per le categorie sociali più povere.

Pertanto, è stato ipotizzato un sistema centralizzato di gestione delle mascherine di comunità per l'intero quartiere e localizzato nell'ex centro di salute. In primo luogo, le mascherine usate sono raccolte e stoccate all'interno di contenitori posti in corrispondenza di quelli per la raccolta dei rifiuti da DPI (entrambi ben segnalati). Dato che il numero delle mascherine in stoffa distribuite nel quartiere è inferiore a quello delle mascherine monouso, i contenitori saranno poco numerosi e saranno posizionati in un solo sito di raccolta. Per il trattamento delle mascherine in stoffa, è sufficiente il lavaggio in lavatrice ad una temperatura superiore a 60°C con i comuni detersivi, per inattivare il virus (Rowan e Laffey, 2020). Considerando il carico medio di 8 kg di

una lavatrice comune e il peso medio di una mascherina in stoffa pari a 10,29 g (Benson et al., 2021), risultano 777 pezzi trattati ad ogni lavaggio. Di conseguenza, la frequenza di lavaggio si determina in base al riempimento dei contenitori di raccolta, assumendo un valore ragionevole una volta a settimana. La fase di asciugatura dura dalle due alle cinque ore, durante le quali il dispositivo è esposto alla luce solare. In alternativa, si prevede l'installazione di un'asciugatrice, per favorire una riduzione degli spazi occupati.

4. Risultati e discussione

I flussi di rifiuti sanitari generati a Chamanculo C presentano peculiarità differenti che dipendono dalle modalità con cui questi sono generati e gestiti nel quartiere. Sia per i rifiuti infettivi sia per quelli potenzialmente infettivi, l'andamento nel tempo della produzione giornaliera è strettamente correlato con quello associato ai dati dei contagi da COVID-19, ottenendo due flussi non costanti nel tempo e altamente variabili (Fig. 6). Pertanto, per il dimensionamento delle fasi del sistema, sono stati utilizzati il valore medio e il valore di picco delle serie di dati; quest'ultimo è relativo all'ondata peggiore dei contagi e ritenuto il caso più critico, in modo tale da saper fronteggiare eventi particolarmente critici ed estremi, seppur poco ricorrenti. Infatti, nonostante tali valori siano relativi alla situazione epidemiologica già avvenuta, si assume che siano rappresentativi di una futura ed eventuale ondata di contagi del coronavirus. Invece, si assume che la produzione dei rifiuti da DPI, di cui è responsabile l'intera popolazione civile, sia uniforme e specifica nella composizione e costante nel tempo.

Nella Tabella 2 sono riportati i valori risultanti della generazione di rifiuti sanitari a livello comunitario nel quartiere di Chamanculo C. L'accuratezza dei risultati delle stime dipende fortemente dalla trasparenza dei dati epidemiologici relativi alla pandemia COVID-19, come il numero di casi positivi e il numero di pazienti ricoverati o in isolamento, nonché dalle ipotesi progettuali assunte e dalla flessibilità dell'applicazione di dati generali nel contesto specifico.

La Tabella 3 mostra i risultati del dimensionamento del sistema di gestione dei rifiuti sanitari progettato per il quartiere di Chamanculo C, differenziati in base allo scenario di intervento e al flusso di rifiuti considerato.

In base ai risultati ottenuti è bene fare delle opportune considerazioni.

- Per la valutazione della modalità di raccolta dei rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi, è necessario confrontare la quantità totale di rifiuti generata nel quartiere nel periodo pre-pandemico e in quello pandemico. Di conseguenza, si valuta se l'incremento percentuale risulti così elevato da mettere in

Tabella 2. Generazione stimata dei flussi di rifiuti sanitari.

	Rifiuti infettivi		Rifiuti potenzialmente infettivi		Rifiuti da DPI
	Valore medio (kg d ⁻¹)	Valore di picco (kg d ⁻¹)	Valore medio (kg d ⁻¹)	Valore di picco (kg d ⁻¹)	(kg d ⁻¹)
Scenario 1	13,23	57,22	43,19	186,82	27,688
Scenario 2	53,06	229,53	173,25	749,36	111,06

crisi il sistema di raccolta in atto. Tale valore risulta essere intorno al 0,02% per la situazione media e circa 0,06% nel caso più critico, per entrambi gli scenari. Pertanto, si può affermare che l'incremento percentuale è trascurabile, cosicché la fase di raccolta non subirebbe conseguenze in termini di quantità di rifiuti da gestire.

- Per assicurare sempre il numero necessario di sacchi da fornire per la raccolta dei rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi (anche nelle situazioni più critiche), 494 sacchi per lo scenario 1 e 1983 per lo scenario 2 devono essere disponibili. Tali valutazioni si basano sulla condizione che venga utilizzato un sacco nuovo ogniqualvolta ha luogo la raccolta, anche se riempito solo del 12%. Ciò risulta alquanto improbabile, poiché tendenzialmente il sacco viene conferito quando è riempito quasi del tutto, ogni tre settimane, favorendo la riduzione del numero di sacchi da tenere a disposizione al momento della distribuzione. Nella situazione pre-emergenziale i sacchi conferiti ogni giorno di raccolta contano 1455 pezzi nello scenario 1 e 5837 nello scenario 2.
- Il numero di containers per lo stoccaggio dei rifiuti infettivi raddoppia rispetto a quello necessario per la raccolta secondaria dei RSU. Questi containers rappresentano un punto di accumulo sicuro per i rifiuti infettivi, nell'eventualità di un picco di generazio-

ne, in seguito a un'ondata di contagi da COVID-19, che non può essere gestita in tempi rapidi. Questi contenitori, quindi, si riempiranno totalmente solamente nelle condizioni più critiche. Al contrario, ogni giorno i containers per la raccolta secondaria dei RSU sono riempiti e svuotati totalmente. Sebbene nella fase di raccolta l'incremento percentuale della quantità di rifiuti relativi al periodo pandemico porti a dei risultati trascurabili nelle modalità di gestione, in questo caso il numero di containers raddoppia, rappresentando un intervento spazialmente notevole, ma in ragione del fatto che i contenitori per le due diverse tipologie di rifiuti svolgono delle funzioni differenti nel sistema di gestione complessivo.

- La soluzione di trattamento proposta (sterilizzazione con vapore e triturazione) rappresenta l'opzione ottima per i rifiuti infettivi, poiché garantisce il raggiungimento dell'obiettivo di disinfezione, risulta compatta e i suoi parametri operativi sono controllabili. Affinché si eviti di danneggiare il macchinario di trattamento con oggetti metallici o materiali abrasivi, viene fornita ai cittadini una serie di raccomandazioni riguardo alla corretta composizione dei rifiuti.
- Il sistema di trattamento alternativo, consistente nel porre i rifiuti in quarantena, è stato progettato in modo tale da eliminare la carica virale del virus

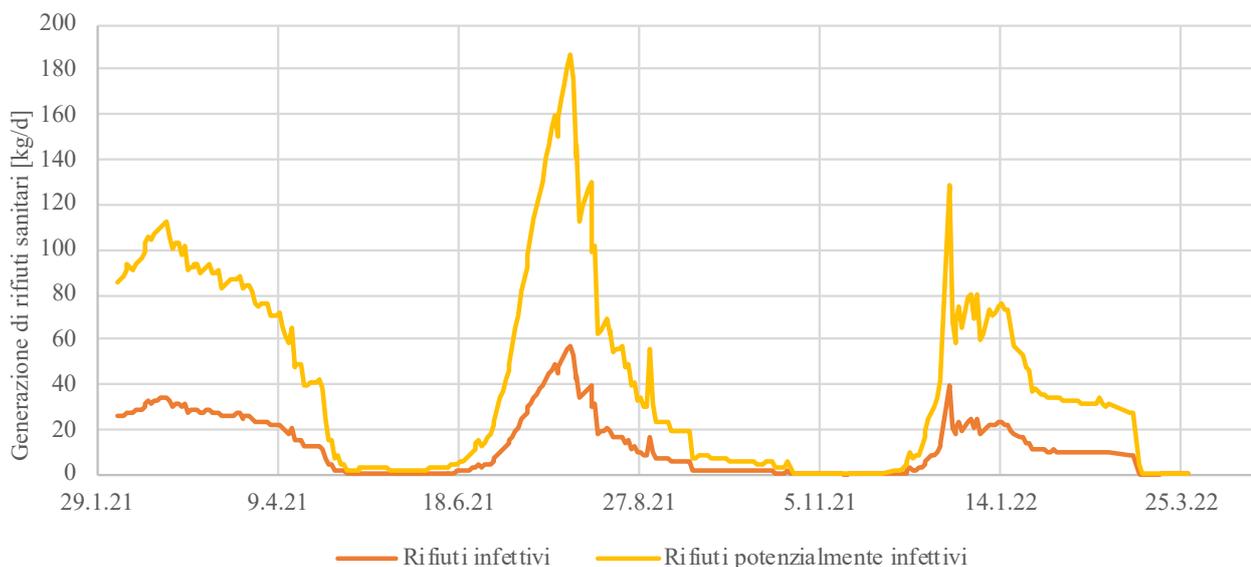
**Figura 6.** Andamento nel tempo della generazione di rifiuti infettivi e potenzialmente infettivi per lo scenario 1.

Tabella 3. Risultati del dimensionamento.

		Rifiuti infettivi e pot. infettivi	Rifiuti da DPI
Raccolta		Sistema di raccolta porta a porta Frequenza: 2 volte a settimana per ogni blocco Tempo di riempimento del sacco: 23 giorni Raccolta del sacco ogni 3 settimane circa	Raccolta dedicata Frequenza: 2 volte a settimana per ogni blocco
	S1	114 sacchi per giorno di raccolta (494 di picco)	11 sacchi a settimana 6 contenitori: 2 per ogni sito (ex centro di salute, mercato e scuola)
	S2	459 sacchi per giorno di raccolta (1983 di picco)	41 sacchi a settimana 21 contenitori: distribuiti omogeneamente nel quartiere
Stoccaggio		Vicino ai containers per la raccolta secondaria RSU	Nell'ex centro di salute
	S1	1 container (da 12 m ³)	0,332 m ³
	S2	4 containers (da 12 m ³)	0,666 m ³
Trattamento ottimale	S1	ISS 25 L (134°C, 312 kPa) 5 cicli giornalieri (8,5 kWh/giorno) 5,5 ore lavorative giornaliere	ISS 25 L (134°C, 312 kPa) 6 cicli giornalieri (10,2 kWh/giorno) 5,5 ore lavorative giornaliere
	S2	ISS 150 L (134 °C, 312 kPa) 3 cicli giornalieri (21-27 kWh/giorno) 5,83 ore lavorative giornaliere	ISS 150 L (134 °C, 312 kPa) 4 cicli giornalieri (28-36 kWh/giorno) 5,83 ore lavorative giornaliere
Trattamento alternativo	S1	2 m ³ di volume di quarantena 11 giorni di durata dell'intero ciclo (2 di riempimento + 9 di quarantena) Uso alternato di due contenitori	
	S2	8 m ³ di volume di quarantena 12 giorni di durata dell'intero ciclo (3 di riempimento + 9 di quarantena) Uso alternato di due contenitori	
Destinazione finale		Smaltimento alla discarica di Hulene	Integrazione nel materiale da costruzione

SARS-CoV-2 presente. Tuttavia, potrebbe favorire la proliferazione di altri ceppi batterici nel rifiuto, aspetto da sottoporre ad ulteriore analisi.

- I rifiuti da DPI sterilizzati potrebbero essere integrati nella miscela del materiale da costruzione, le cui caratteristiche fisiche e meccaniche presenterebbero dei miglioramenti. In aggiunta, il recupero di materiale e il conseguente risparmio di nuove risorse per il materiale da costruzione contribuirebbero ad un risparmio economico e ad una riduzione degli impatti ambientali e sanitari. La strategia di valorizzazione del rifiuto da DPI rappresenta una soluzione alternativa allo smaltimento in discarica ed innovativa, da valutare ed analizzare ulteriormente, poiché garantirebbe lo sviluppo anche in altri settori, quali la produzione di materiale da costruzione tanto quanto la gestione dei rifiuti sanitari, influenzando sullo sviluppo sociale dell'intero quartiere.
- Nonostante il sistema di lavaggio e asciugatura delle mascherine in capulana sia ampiamente applicabile al contesto, le modalità di ritiro e redistribuzione ne rendono complessa la gestione, in particolare riguardo alla necessità di un sistema di etichettatura per la restituzione di ogni mascherina al legittimo proprietario. Pertanto, è consigliabile avviare una campagna di sensibilizzazione riguardo ai metodi corretti di lavaggio e disinfezione della mascherina in stoffa a livello domestico.

5. Conclusioni

Gli impatti della pandemia COVID-19 sulla gestione dei rifiuti sanitari hanno portato alla luce le fragilità dei sistemi esistenti, soprattutto nei contesti a basso reddito, dove la gestione, il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti sono ridotti all'essenziale o soggetti a malfunzionamenti, a causa delle limitate risorse economiche e tecnologiche. Inoltre, è sorta l'urgenza di pianificare delle strategie di gestione dei rifiuti per fronteggiare le criticità in periodo emergenziale e post emergenziale, e per limitare il possibile contatto tra la popolazione e gli operatori formali e informali del sistema di raccolta e i rifiuti infetti.

Per progettare il sistema di gestione dei rifiuti sanitari a Chamanculo C, sono stati individuati i tre flussi generati nel quartiere a livello comunitario, quali i rifiuti derivanti dai dispositivi di protezione individuale utilizzati, i rifiuti infettivi dai pazienti positivi al virus in isolamento e i rifiuti potenzialmente infettivi degli individui in contatto con soggetti positivi. Si segnala la difficoltà di ottenere dati realistici in base ai quali stimare i tre flussi, trattandosi di un evento recente e non ancora sufficientemente analizzato in letteratura. Questo genera un'incertezza che si ripercuote sul dimensionamento delle fasi del sistema di gestione, progettate per ciascun flusso in base alle modalità di generazione, alle caratteristiche intrinseche dei flussi stessi e all'utenza da servire. L'intero sistema di gestione è stato progettato per due scena-

ri differenti, in base all'ampiezza dell'area di intervento e alla numerosità dell'utenza servita. La selezione dello scenario di intervento dipende anche dalle ipotesi progettuali elaborate dagli altri gruppi tematici coinvolti nel progetto HANDS, per arrivare ad offrire una proposta applicativa che sia quanto più possibile omogenea e onnicomprensiva.

Questo studio, basato sull'analisi del contesto e sui dati disponibili in letteratura, rappresenta un esempio per la pianificazione di un sistema per la gestione dei rifiuti contaminati generati a livello comunitario in seguito a epidemie che si sviluppano in contesti con condizioni igienico-sanitarie critiche. In particolare, potrebbe prestarsi come riferimento in caso di situazioni che richiedessero un adattamento urgente del sistema di raccolta.

Lo studio ha tenuto in considerazione i vincoli derivanti dal sistema di gestione dei rifiuti realmente esistente a Chamanculo C, e la sua applicabilità e replicabilità varia in funzione di questi e a seconda delle fasi considerate. Le fasi di generazione, raccolta e stoccaggio sono influenzate in termini quantitativi dalle caratteristiche del contagio, che nel caso del COVID-19 presentava un'elevata morbilità e la permanenza del virus per un tempo considerevole sulle superfici; tuttavia, la procedura di dimensionamento di queste fasi risulta facilmente adattabile ad altre situazioni. L'applicazione del trattamento di sterilizzazione con vapore e triturazione potrebbe risultare utile qualora in futuro ci fosse la necessità di disinfettare i rifiuti infettivi derivanti da nuovi ambulatori medici nell'ex centro di salute o nel quartiere. Infatti, la proposta di un sistema di gestione a piccola scala e decentralizzato rappresenta un'alternativa ai metodi tradizionali, portando a delle soluzioni più flessibili e integrabili nel contesto. Le indicazioni fornite agli stakeholders locali riguardo alle corrette strategie di gestione e smaltimento dei rifiuti sanitari offrono l'opportunità di uno sviluppo tecnico e tecnologico del settore, senza sottovalutare gli aspetti ambientali.



Figura 7. Contenitore da 12 m³ (uno di tre collocati a Chamanculo C) per il conferimento dei rifiuti da parte delle microimprese che si occupano della raccolta primaria (ott. 2021)

Gli interventi previsti si applicano a livello comunitario contribuendo allo sviluppo socioculturale del quartiere: infatti, tutti i cittadini sono coinvolti, informati e sensibilizzati sulle tematiche riguardanti la gestione dei rifiuti che producono e i metodi di prevenzione delle malattie infettive. Infine, per quanto riguarda la disposizione finale, la sterilizzazione dei rifiuti infettivi rappresenta una tutela per gli operatori dell'intera filiera, ivi compresi i raccoglitori informali, soprattutto dove la disposizione finale è una discarica facilmente accessibile, come in questo caso.

Nel suo complesso, il sistema di gestione dei rifiuti sanitari progettato comporterebbe un miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie nel quartiere in una prospettiva a lungo termine e non strettamente legata alla pandemia COVID-19. ■

Riferimenti bibliografici

- Adelodun B. et al. (2021) Insights into hazardous solid waste generation during COVID-19 pandemic and Sustainable Management Approaches for Developing Countries, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(6), pp. 2077–2086.
- Adusei-Gyamfi J. et al. (2022) Post covid-19 recovery: Challenges and opportunities for solid waste management in Africa. *Environmental Challenges*, 6, p. 100442.
- Asim N., Badiei M. e Sopian K. (2021) Review of the valorization options for the proper disposal of face masks during the COVID-19 pandemic. *Environmental Technology & Innovation*, 23, p. 101797.
- Allen e Joassias (2011) WIEGO. Mapping of the Policy Context and Catadores Organizations in Maputo, Mozambique.
- Ali M. et al. (2017) Hospital Waste Management in developing countries: A mini review. *Waste Management*



Figura 8. Raccolta con carretti (“tchovas”) a Polana, un altro sobborgo di Maputo (ottobre 2021).

- & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 35(6), pp. 581–592.
- AVSI (2021). Formação sobre resíduos sólidos com m. Milão. Fondazione AVSI, documentazione interna.
 - Benson N.U. et al. (2021) Covid-19 pandemic and emerging plastic-based personal protective equipment waste pollution and management in Africa. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), p. 105222.
 - Betho, R. et al. (2021) The macroeconomic impact of Covid-19 in Mozambique: A Social Accounting Matrix Approach. *Journal of International Development*, 34(4), pp. 823–860.
 - Chowdhury T. et al. (2022) Estimation of the healthcare waste generation during COVID-19 pandemic in Bangladesh. *Science of The Total Environment*, 811, p. 152295.
 - Celitron (2022) Disponibile su: <https://celitron.com/en/medical-sharps-waste-disposal-iss> (Ultimo accesso 5/12/22).
 - Celitron (2023a) ISS 25 L Product Specification Sheet – MS12-0003 v 2.2 EN. Disponibile su: <https://docplayer.net/211803203-Integrated-sterilizer-shredder-iss-25l.html> (Ultimo accesso 15/4/2023).
 - Celitron (2023b) ISS AC 575 Product Specification Sheet – MS11-0010 v 2.2 EN. Disponibile su: <https://www.steribel.be/wp-content/uploads/ISS-AC-575-Product-Specification-Sheet-v-2.2-EN.pdf>
 - CoM. (2020, March 14) Mozambique reinforces COVID-19 prevention measures. Club of Mozambique. Disponibile su: (Ultimo accesso 29/03/2023) (Ultimo accesso 29/03/2023) Corburn, J., Vlahov, D., Mberu, B. et al. (2020) Slum Health: Arresting COVID-19 and Improving Well-Being in Urban Informal Settlements. *J Urban Health* 97, pp. 348–357. Das A.K. et al. (2021) Covid-19 pandemic and Healthcare Solid Waste Management strategy – a mini-review. *Science of The Total Environment*, 778, p. 146220.
 - De Giorgi S. (2022) Il COVID-19 e la gestione dei rifiuti sanitari in contesti a basso reddito: proposte per un quartiere informale di Maputo. Tesi di laurea magistrale non pubblicata, Politecnico di Milano.
 - Domini M. (2018) The challenge of sharing data in cooperation projects: cause for reflection. *Journal of UNiversities and international development COoperation*, 1, pp. 234-243.
 - Dos Muchangos L.S., Tokai A. e Hanashima A. (2016) Application of material flow analysis to municipal solid waste in Maputo City, Mozambique. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 35(3), pp. 253–266.
 - Duque Franco, I., et al. (2020) Mapping repertoires of collective action facing the COVID-19 pandemic in informal settlements in Latin American cities, *Environment and Urbanization*, 32(2), pp. 523–546.
 - El-Ramady H. et al. (2021) Planning for disposal of covid-19 pandemic wastes in developing countries: A review of current challenges. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(9).
 - Emilia, A.U., Julius, N.F. and Gabriel, G. (2015) Solid medical waste management in Africa. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), pp. 244–254.
 - Haque M.S. et al. (2021) Coronavirus disease 2019 (covid-19) induced waste scenario: A short overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), p. 104660.
 - HANDS (2023). Health AND urban Space in Chamanculo, Mozambique. Report finale di progetto.
 - IFC (2020) COVID-19's Impact on the Waste Sector. International Finance Corporation (IFC). World Bank Group.
 - Ilyas S., Srivastava R.R. e Kim H. (2020) Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *Science of The Total Environment*, 749, p. 141652.
 - Instituto Nacional de Estatística Gabinete do Presidente. (2017) Divulgação os resultados preliminares IV RGPH 2018. Censo 2017, IV Recenseamento Geral da População e Habitação. Disponibile su: <http://www.ine.gov.mz/operacoes-estatisticas/censos/censo-2007/censo-2017/divulgacao-os-resultados-preliminares-iv-rgph-2017/view> (Ultimo accesso 5/12/2022).
 - Iyer, M. et al. (2021) Environmental survival of SARS-COV-2 – a solid waste perspective, *Environmental Research*, 197, p. 111015.
 - Kampf G. et al. (2020) Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection*, 104(3), pp. 246–251.
 - Krauss, J.E. et al. (2022) To prevent this disease, we have to stay at home, but if we stay at home, we die of hunger – livelihoods, vulnerability and coping with covid-19 in rural Mozambique. *World Development*, 151, p. 105757.
 - Masera G. e Tadi M. (2020) Environmental performance and social inclusion in informal settlements: A favela project based on the IMM

Integrated Modification Methodology. Research for Development [Preprint].

- MISAU (2020) Manual de prevenção COVID-19” Ministério da Saude do Moçambique. Disponibile su: <https://www.misau.gov.mz/index.php/manuais-e-material-educativo?download=322:manual-de-prevencao-a-covid-19> (Ultimo accesso 30/03/2023).
- MISAU “Informação sobre coronavirus COVID-19”. Ministério da Saude do Moçambique Disponibile su: <https://www.misau.gov.mz/index.php/informacao-sobre-coronavirus-covid-19> (Ultimo accesso 5/12/22).
- MISAU (2021) Informação caso confirmado COVID-19. Folheto informativo. Ministério da Saude do Moçambique Disponibile su: <https://www.misau.gov.mz/index.php/manuais-e-material-educativo?download=1143:folheto-isolamento-em-casa-e-criterio-de-alta> (Ultimo accesso 29/03/2023).
- Nzediegwu C. e Chang S.X. (2020) Improper solid waste management increases potential for COVID-19 spread in developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, p. 104947.
- Prata J.C. et al. (2020) Covid-19 pandemic repercussions on the use and management of plastics. *Environmental Science & Technology*, 54(13), pp. 7760–7765.
- Rowan N.J. e Laffey J.G. (2021) Unlocking the surge in demand for personal and protective equipment (PPE) and improvised face coverings arising from coronavirus disease (covid-19) pandemic – implications for efficacy, re-use and sustainable waste management. *Science of The Total Environment*, 752, p. 142259.
- Saxena P., Pradhan I.P. e Kumar D. (2022) Redefining bio medical waste management during COVID- 19 in India: A way forward. *Materials Today: Proceedings*, 60, pp. 849–858.
- Sharma H.B. et al. (2020) Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post covid-19 pandemic. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, p. 105052.
- Stretz J. (2012) Operator Models. Respecting Diversity. Annex 7 - Maputo Case Study. Eschborn: GIZ. Disponibile su: <http://www.giz.de/en/mediacenter/publications.html>, cercare ‘operator models’.
- Tripathi, A. et al. (2020) Challenges, opportunities and progress in solid waste management during COVID-19 pandemic. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, p. 100060.
- UNDP (2020) The Next Frontier: Human Development and the Anthropocene. Human Development Report 2020. Disponibile su: <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2020> (Ultimo accesso 5/12/2022). United Nations Development Programme.
- UNEP (2018) Africa Waste Management Outlook. United Nations Environment Programme.
- UNEP (2020) Waste Management during the COVID-19 pandemic. United Nations Environment Programme.
- Voudrias E.A. (2016) Technology selection for Infectious Medical Waste Treatment using the analytic hierarchy process. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(7), pp. 663–672.
- WHO (2010) Guide to local production: WHO-recommended Hand rub Formulations. World Health Organization.
- WHO (2014) Safe Management of Wastes From Health-Care Activities. World Health Organization.
- WHO (2020) Water, sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19. Interim guidance. COVID-19: Infection prevention and control. WASH. World Health Organization.
- WHO (2022) Global analysis of healthcare waste in the context of COVID-19. Status, impacts and recommendations. World Health Organization.
- WHO (2023) Coronavirus disease (COVID-19). Overview. World Health Organization. Disponibile su: https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1 (Ultimo accesso 21/03/2023).
- Wilkinson A., et al. (2020) Local response in health emergencies: key considerations for addressing the COVID-19 pandemic in informal urban settlements. *Environment and Urbanization*, 32(2), pp. 503–522.
- Zand A.D. e Heir A.V. (2020) Environmental impacts of new coronavirus outbreak in Iran with an emphasis on waste management sector. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(1), pp. 240–247.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata possibile grazie all’esistenza del progetto HANDS, finanziato da Polisocial, il programma di impegno e responsabilità sociale del Politecnico di Milano. Si ringraziano tutti i componenti del team HANDS: Camillo Magni, Laura Montedoro e Giuliana Miglierina (DASU), Mattia Sponchioni e Gianmarco Polotti (CMIC), Gabriele Masera, Massimo Tadi, Carlo Andrea Biraghi e Solomon Tamiru Tesfaye (DABC), Riccardo Mereu (DENG). Si ringraziano inoltre per il supporto sul campo Gabriele Tardivo e Samuel Matsinhe della ONG AVSI, l’Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo AICS - Mozambico, Architetti Senza Frontiere ASF Spagna e Italia, l’Università Eduardo Mondlane, Maputo.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2023 è sostenuta da:

