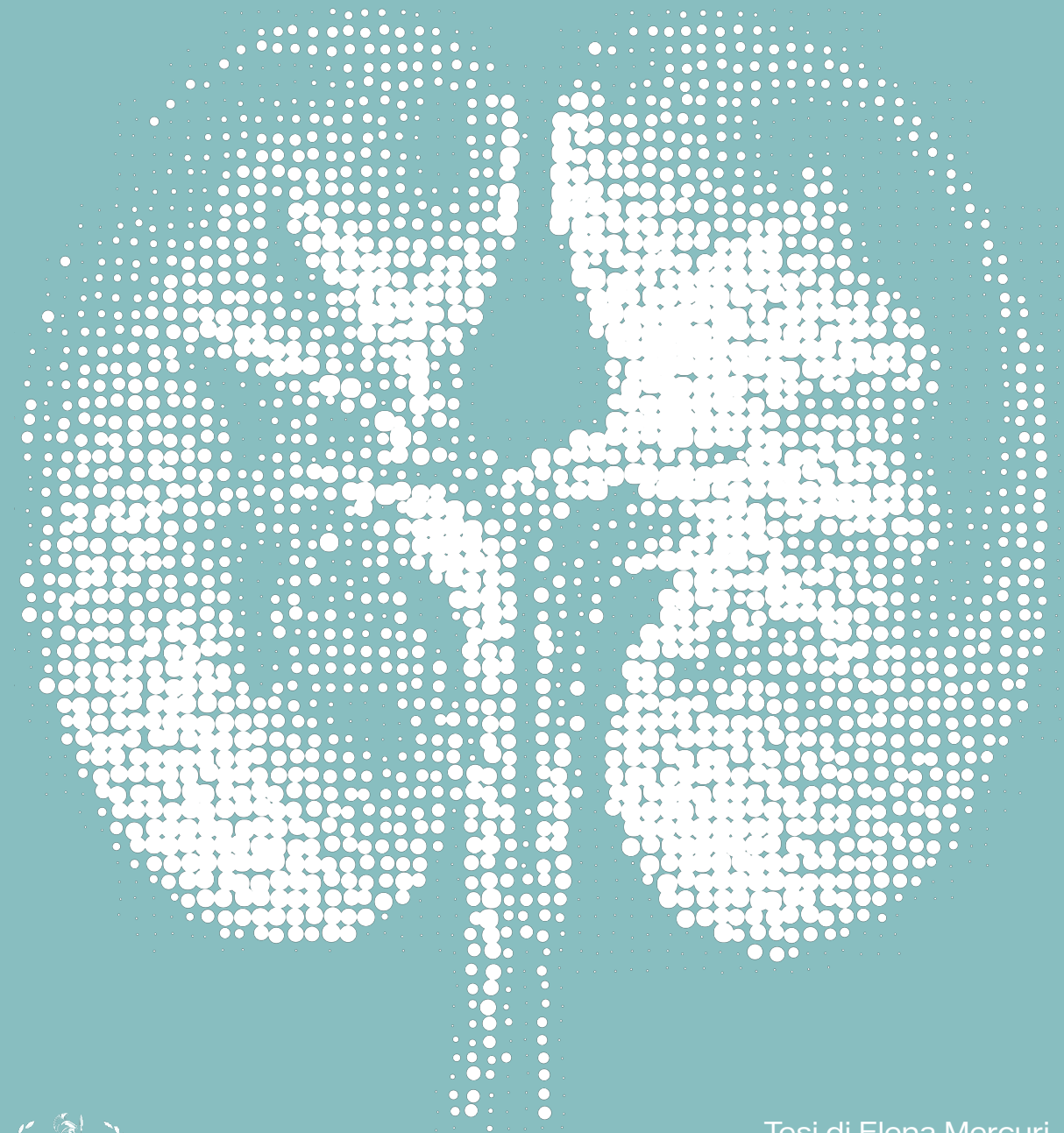


La dialisi peritoneale domiciliare come scelta sostenibile

Un'analisi dell'impatto ambientale
e prospettive di innovazione progettuale



Politecnico
di Torino

Tesi di Elena Mercuri
Relatrice Amina Pereno
A.A. 2025-2026



Laurea in Design e Comunicazione -
Politecnico di torino

La dialisi peritoneale domiciliare come scelta
sostenibile: analisi dell'impatto ambientale e
prospettive di innovazione progettuale

A.A. 2025-2026

Candidata: Elena Mercuri

Relatrice: Amina Pereno

Ai miei nonni

ABSTRACT

La malattia renale cronica colpisce circa il 10% della popolazione mondiale e la dialisi comporta un impatto ambientale significativo in termini di consumo idrico, energetico e di produzione di rifiuti plastici. In questo contesto l'elaborato approfondisce le pratiche cliniche attraverso un'analisi comparativa dei consumi delle tre principali modalità dialitiche, esplorando soluzioni progettuali che possano allo stesso tempo ridurre l'impatto ambientale e migliorare la qualità di vita del paziente. Si prende inoltre in esame l'Innovation Matrix del progetto europeo KitNewCare e se ne evidenziano i principali gap progettuali, fino a formulare linee guida utili per il design applicato all'ambito sanitario.

INDICE

Capitolo 1

1.1 Introduzione	1
1.2 Obiettivo della ricerca	3
1.3 Struttura e metodologia	3

Capitolo 2

2.1 Cos'è la dialisi	6
2.2 Approfondimento storico	6
2.3 I diversi tipi di dialisi	9
2.4 Green Nephrology	11
2.5 Design in ambito sanitario	13
2.6 Design sostenibile per la dialisi: lo stato dell'arte	15
- Digitalizzazione e telemedicina	
- Transizione verso sistemi basati sul servizio	

Capitolo 3

3.1 Patient Journeys	19
- Pazienti in CAPD	
- Pazienti in ADP	
- Pazienti in HD	
3.2 Consumi e impatto ambientale di ciascuna modalità dialitica	30
- CAPD	
Impatti primari	
Impatti secondari	
- APD	33
Impatti primari	
Impatti secondari	
- HD	35
Impatti primari	
Impatti secondari	

3.3 Tavola comparativa finale dei consumi delle diverse modalità di dialisi	37
---	----

Capitolo 4

4.1 KitNewCare: innovazioni sostenibili nella dialisi	41
4.2 Matrix Of Technological Innovation - un'analisi approfondita	42
4.3 Il posizionamento delle innovazioni per impatto e scala d'intervento	45
4.4 Il posizionamento delle innovazioni per TRL	47
4.5 Conclusioni dell'analisi	49

Capitolo 5

5.1 Gap progettuali individuati	51
5.2 Casi studio	54
5.3 Linee d'intervento progettuale	

Conclusioni	69
--------------------	----

Allegato 1: Matrix Of
Technological Innovation

Allegato 2: Casi studio

CAPITOLO 1

Contesto, obiettivi e
metodologia della ricerca

1.1 INTRODUZIONE

Nel dibattito mediatico, politico e sociale degli ultimi decenni ha acquisito spazio crescente il tema del riscaldamento ambientale e tutte le sue conseguenze sulla società contemporanea. Un numero sempre maggiore di calamità meteorologiche estreme minaccia intere regioni e porta a fenomeni complessi, quali l'emigrazione ambientale, la gentrificazione climatica e le pandemie zoonotiche. Sullo sfondo di queste crisi si colloca un indicatore altrettanto eloquente della pressione esercitata dall'umanità sulla biosfera: l'Earth Overshoot Day. Questo indicatore è scivolato progressivamente in avanti nel calendario: se negli anni Settanta la soglia veniva raggiunta verso la fine di dicembre, nel 2025 cadeva già il 24 luglio, rendendo visibile in modo immediato l'accelerazione strutturale del consumo delle risorse planetarie.

È in questo contesto che è emersa, sempre più urgente, la necessità di rinnovare le modalità d'azione di tutti i settori produttivi e di servizio. Questo rinnovamento è ancor più necessario per quegli ambiti storicamente trascurati dalle politiche di sostenibilità per la loro natura complessa: uno di questi è indubbiamente il settore sanitario. Nonostante l'obiettivo del settore sanitario sia il mantenimento e il miglioramento della salute dei singoli individui e della popolazione, incide in maniera significativa sull'inquinamento ambientale. Si stima che la sanità sia responsabile fino al 5% delle emissioni globali di gas serra, con percentuali ancora più elevate in alcune nazioni.

Questo è un dato che mette in luce una contraddizione profonda: il settore chiamato a tutelare la salute umana risulta esso stesso tra i responsabili di una delle sue principali minacce contemporanee. Nell'ultimo decennio, la comprensione del rapporto tra cambiamento climatico e la salute umana è cresciuta, arrivando a far considerare l'impatto ambientale la più grande sfida per la salute pubblica del XXI secolo.¹²

In particolar modo le strutture ospedaliere, che sono per loro natura estremamente energivore, contribuiscono all'inquinamento mondiale attraverso l'impiego massiccio di risorse idriche, energia elettrica e scarti di manufatti plastici monouso, ed è proprio tutto questo che nell'ambito nefrologico porta alla nascita del concetto di "Green Nephrology".

Il Professor John Agar è riconosciuto come pioniere di questa disciplina, in quanto fu il primo a identificare la necessità di trovare delle soluzioni innovative per ridurre l'impatto ecologico della dialisi, promuovendo, nel settore, una gestione dei rifiuti alternativa, di tipo "cradle-to-cradle", in opposizione al modello produttivo unidirezionale "cradle-to-grave", che da sempre caratterizza un settore con così grande impiego di strumenti e dispositivi monouso. Si tratta di un modello ereditato dalla Rivoluzione

Industriale che, ancora oggi, è all'origine di quantità enormi di rifiuti e inquinamento. In epoca moderna, è ormai imprescindibile rimettere in discussione questo paradigma, adottando un approccio più propositivo e metodologie capaci di ridurre l'impatto sul mondo naturale.³⁴

L'alta scalabilità di un cambiamento, anche minimo, in una singola tecnica ospedaliera può generare un impatto ambientale positivo di vasta portata. Infatti, le performance ambientali ospedaliere derivano da molteplici attività operative, il che implica che interventi su singoli processi possano incidere in maniera importante sull'impatto complessivo della catena operativa. Le malattie croniche in particolare rappresentano l'area di maggiore consumo di risorse in questo contesto, a causa della continuità e della frequenza dei trattamenti richiesti. La malattia renale cronica (MRC), che colpisce circa il 10% della popolazione globale, rappresenta in tal senso un caso emblematico: la sola emodialisi (HD) tradizionale richiede, per una singola sessione di quattro ore, tra i 300 e i 500 litri d'acqua e genera annualmente tonnellate di rifiuti plastici e significative emissioni di CO₂. Anche l'aspetto economico è significativo: in Italia la sola dialisi assorbe circa il 4% della spesa sanitaria pubblica, superando i 4 miliardi di euro annui.^{5 6}

Per comprendere a pieno l'enorme impatto ambientale, economico e sociale delle malattie croniche, bisogna anche tenere a mente l'invecchiamento della popolazione europea e l'aumento delle malattie croniche non trasmissibili, che porteranno, inevitabilmente, questi numeri appena proposti ad aumentare.⁷

In questo quadro di riferimento, la presente tesi si propone di analizzare le differenze fra la dialisi peritoneale domestica e quella ospedaliera analizzando l'impatto ambientale di ciascuna di queste e capire come l'innovazione nel design possa ottimizzare questo ciclo di cura, rendendo le terapie dialitiche più sostenibili.

1.2 DOMANDA DI RICERCA

La presente ricerca si propone di indagare il potenziale dell'innovazione progettuale di design come leva per rendere la dialisi peritoneale domiciliare una pratica più sostenibile dal punto di vista ambientale e maggiormente orientata al miglioramento dell'esperienza utente e della qualità della vita del paziente. A tal fine, lo studio adotta un approccio comparativo, analizzando l'impatto ambientale delle diverse modalità dialitiche, verificando se la dialisi peritoneale domiciliare possa configurarsi come la scelta più sostenibile rispetto alle alternative ospedaliere.

A partire da tale analisi, si intende esplorare come il design possa contribuire a ridurre ulteriormente l'impatto ambientale di queste tecniche, e a renderle più efficaci sotto il profilo dell'esperienza d'uso del paziente. L'obiettivo è quello di individuare possibili gap progettuali nelle innovazioni presenti ad oggi nel campo della dialisi, per poi delineare possibili direzioni progettuali e linee guida da seguire in futuro.

Come può l'innovazione progettuale contribuire a ridurre l'impatto ambientale della dialisi peritoneale domiciliare e, al contempo, migliorare l'esperienza d'uso e la qualità della vita del paziente?

1.3 STRUTTURA E METODOLOGIA

La struttura della tesi segue una progressione logica dell'argomento, sviluppata attraverso differenti livelli di analisi e finalizzata all'approfondimento progressivo degli aspetti più specifici della tematica trattata.

Capitolo 2 → Nel secondo capitolo viene trattata in maniera approfondita la tematica della dialisi, fornendo un inquadramento storico e tecnico di questa terapia, e analizzandone le diverse tipologie, che saranno ulteriormente approfondite nei capitoli successivi. Vengono inoltre presentati i concetti di Green Nephrology e del ruolo del design nell'ambito sanitario, approfondendo poi lo stato dell'arte di quest'ultimo, presentando diversi casi studio.

CAPITOLO 3 → Vengono approfonditi i percorsi di terapia quotidiani dei pazienti nelle tre principali modalità dialitiche: CAPD, APD ed HD. Il capitolo conduce poi una valutazione comparativa dell'impatto ambientale di ciascuna di queste modalità.

CAPITOLO 4 → Viene presentato e analizzato il progetto europeo KitNewCare, concentrandosi in particolare sull'Innovation Matrix, un archivio

di innovazioni tecnologiche esistenti classificandole per area tematica, per impatto ambientale primario (acqua, rifiuti, energia, trasporti), per contesto applicativo (domiciliare od ospedaliero) e per livello di maturità tecnologica secondo la scala TRL. Attraverso l'elaborazione di tabelle e grafici, sono state individuate le tendenze principali, offrendo così una mappatura dello stato dell'arte delle soluzioni tecnologiche disponibili.

CAPITOLO 5 → In questo capitolo vengono sintetizzati i risultati della ricerca fatta, partendo dagli aspetti rilevanti ricavati dall'analisi dell'Innovation Matrix. Una volta individuati gap progettuali da indagare, vengono presentati casi studio interessanti e, infine, vengono indicate le linee guida utili al miglioramento della sostenibilità e dell'esperienza d'uso del paziente.

CAPITOLO 2

**Cos'è la dialisi: evoluzione
storica, tipologie e
approccio sostenibile**

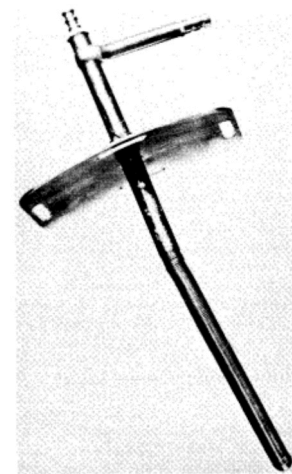
2.1 COS'È LA DIALISI?

In primo luogo, è opportuno contestualizzare e definire l'oggetto di studio della ricerca. In medicina, la dialisi (dal greco “διάλυσις”, composto da “διά”, che significa "attraverso", e “λύσις”, che significa "sciogliere", e che nel suo insieme indica l'idea di "dissoluzione") è una terapia salvavita sostitutiva, impiegata per sopperire alla perdita della funzionalità renale conseguente a insufficienza renale. L'obiettivo principale di questa terapia è quello di filtrare il sangue rimuovendo tossine, prodotti di scarto e liquidi in eccesso, assicurando sempre l'equilibrio di determinate sostanze nel sangue, come potassio, sodio, calcio, fosforo e bicarbonato. A partire dal concetto stesso di dialisi verrà presentato il contesto storico di questa terapia e verranno approfondite le innovazioni sostenibili sviluppate in questo ambito. ^{8 9}

2.2 APPROFONDIMENTO STORICO

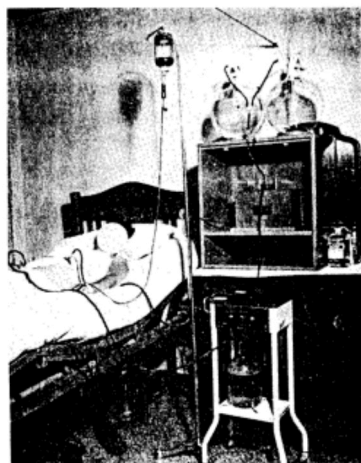
La dialisi peritoneale domestica affonda le proprie radici negli studi realizzati nel corso del ventesimo secolo sulla membrana peritoneale, frutto di ricerche condotte sul fenomeno dell'osmosi. Fu infatti Henri Dutrochet, fisiologo francese vissuto a cavallo tra il Settecento e l'Ottocento, a scoprire e coniare il nome del processo. I suoi studi gettarono le basi per quelli successivi, concentrati più specificatamente sulla membrana peritoneale. Dei primi tentativi di dialisi peritoneale furono realizzati da Georg Ganter nel 1923 in Germania, mentre cercava un'alternativa alla irudina, sostanza che previene la coagulazione del sangue ma tossica per l'uomo. Ganter utilizzò un ago per instillare la soluzione fisiologica sterile nel peritoneo di una donna che aveva sviluppato un'insufficienza renale dopo il parto. Utilizzò un tubo in gomma per trasportare la soluzione dalla bottiglia all'ago, e quando i valori della donna furono accettabili, fu mandata a casa, dove morì poco dopo.

Nonostante questo primo tentativo di dialisi non abbia salvato la vita alla paziente, questo episodio è considerato di grande importanza, in quanto Ganter osservò e descrisse molti principi della dialisi peritoneale che vengono utilizzati ancora oggi. Anche per quanto riguarda il design degli strumenti impiegati si fecero progressivamente dei passi avanti. Rosenak e Siwon misero a punto un catetere per il lavaggio continuo del peritoneo che avrebbe contribuito a superare alcuni dei problemi di accesso descritti da Georg Ganter.



Catetere peritoneale in acciaio inossidabile sviluppato da Stephen Rosenak.

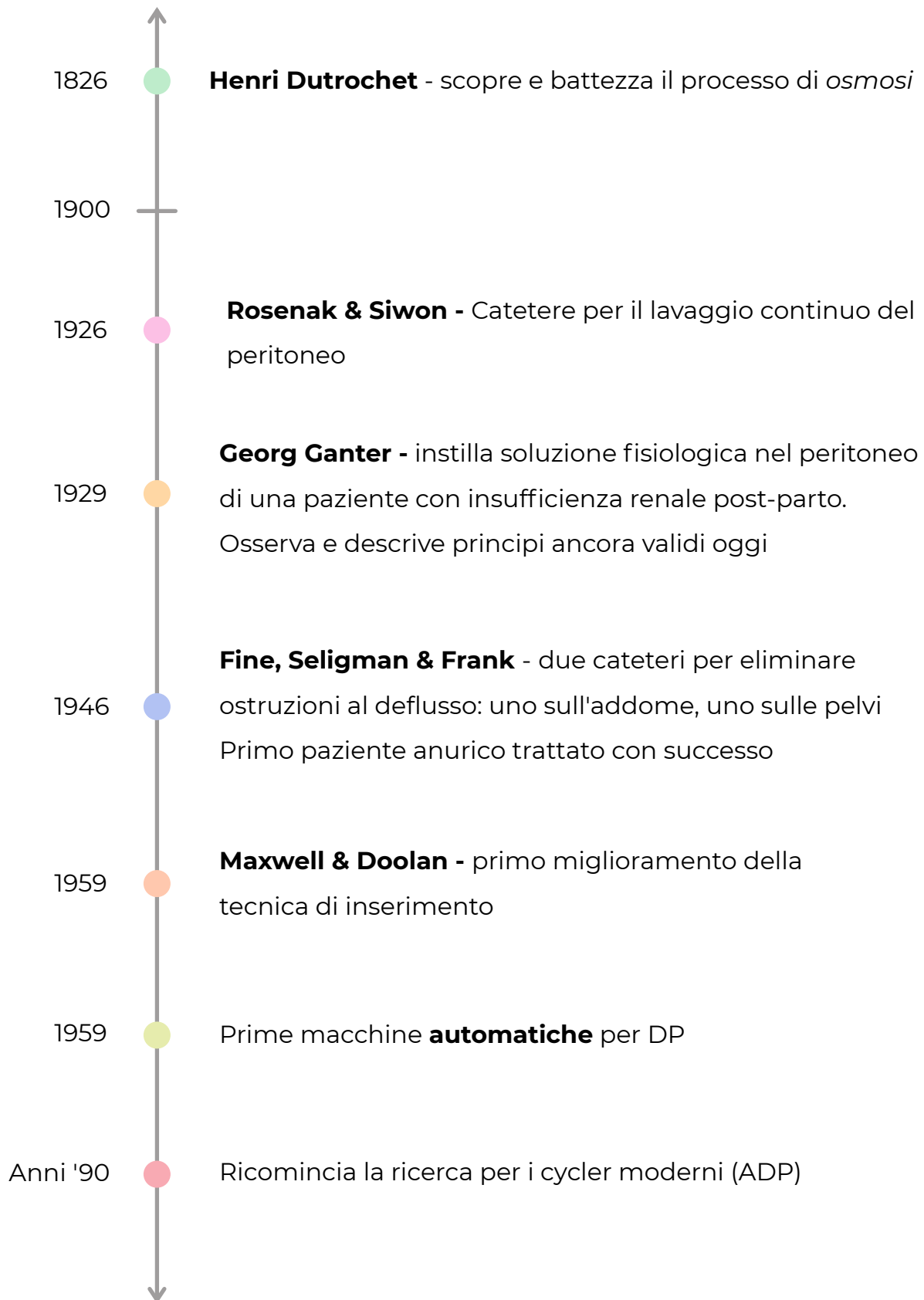
I dottori Jacob Fine, Arnold Seligman e Howard Frank fecero ulteriori progressi utilizzando due cateteri per ridurre al minimo qualsiasi potenziale ostruzione durante la fase di deflusso della procedura. Il primo, posizionato sull'addome, il secondo, per l'uscita, sulle pelvi, con il fluido che veniva continuamente infuso nel catetere superiore per poi uscire in quello inferiore.



Il sistema a due cateteri Seligman
Fine e Frank.

Riuscirono in tal maniera a trattare con successo un paziente anurico, dopo quattro giorni di lavaggio peritoneale. Successivamente vennero trattati circa altri centocinquanta casi, ma la mortalità di questo tipo di terapia con questi strumenti restava alta. Infatti, la tecnica dei due cateteri provocava diverse complicazioni, tra cui perdita del dialisato e continue infezioni. Venne poi abbandonata a favore dell'adozione di un singolo catetere posizionato sulle pelvi. Fu solo successivamente, grazie al lavoro di Morton Maxwell e Paul Doolan, che si ottenne un primo miglioramento della tecnica di inserimento dei cateteri.

Nel corso degli anni Sessanta vennero realizzate le prime macchine automatiche per la dialisi peritoneale, di cui tuttavia, con l'avvento della CAPD, ne venne in parte abbandonato lo sviluppo. La dialisi peritoneale fu poi ripresa nel corso degli anni Novanta, fino ad arrivare ai cyclers impiegati nella pratica clinica e ancora oggi oggetto di ricerca e innovazione.^{10 11}



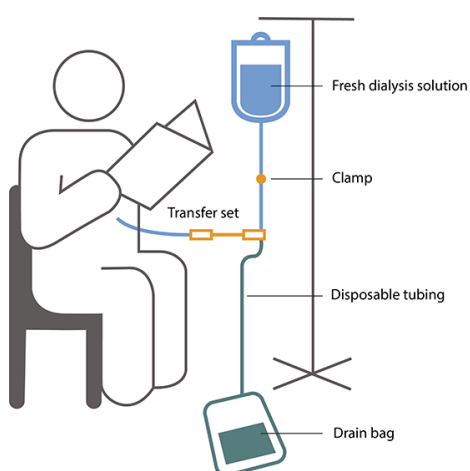
2.3 I DIVERSI TIPI DI DIALISI

Vi sono due tipi di dialisi attualmente in uso: emodialisi e dialisi peritoneale. Entrambe le tecniche si avvalgono dell'utilizzo di membrane semipermeabili che sono in grado di replicare la filtrazione renale.

Nella **dialisi peritoneale (PD)**, detta anche intracorporea poiché il processo di filtrazione del sangue avviene all'interno del corpo del paziente, il peritoneo viene utilizzato come membrana dializzante. Viene fatta scorrere al suo interno una soluzione sterile, che viene infusa nella cavità peritoneale attraverso un catetere impiantato nell'addome.¹²

Esistono due tipi di PD: **dialisi peritoneale ambulatoriale continua (CAPD)** e **dialisi peritoneale automatizzata (APD)**. La prima prevede che gli scambi vengano effettuati manualmente durante la giornata, in media ogni 4-6 ore, senza l'impiego di apparecchiature. Questa tecnica ha una buona accettabilità da parte dei pazienti in quanto consente di autogestire a domicilio il trattamento dialitico, e ciò rappresenta un elemento di attrazione, in quanto favorisce il miglioramento della qualità di vita e l'autonomia del paziente. Un limite di questa tecnica è sicuramente la quantità limitata del liquido infuso e il conseguente numero di scambi dialitici giornalieri.

L'APD, invece, avviene solitamente mentre il paziente dorme, attraverso l'utilizzo di un cyclor che esegue gli scambi automaticamente per 8-10 ore. Il dispositivo è programmabile in modo da erogare differenti volumi di soluzione dialitica in intervalli temporali prestabiliti. In diversi studi i pazienti in APD hanno mostrato un minor disagio fisico ed emotivo, rispetto a quelli in CAPD, sebbene la differenza non fosse statisticamente significativa. È interessante osservare come sia diffusa la percezione secondo cui l'APD presenti una criticità rilevante: il disturbo del sonno.



Dialisi Peritoneale Ambulatoriale Continua

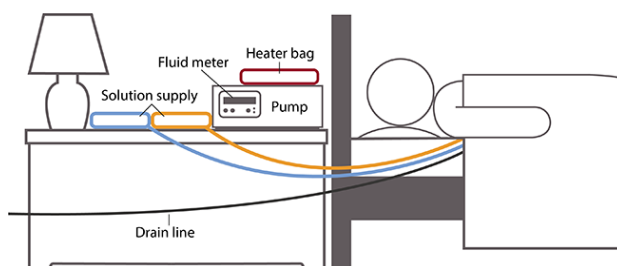
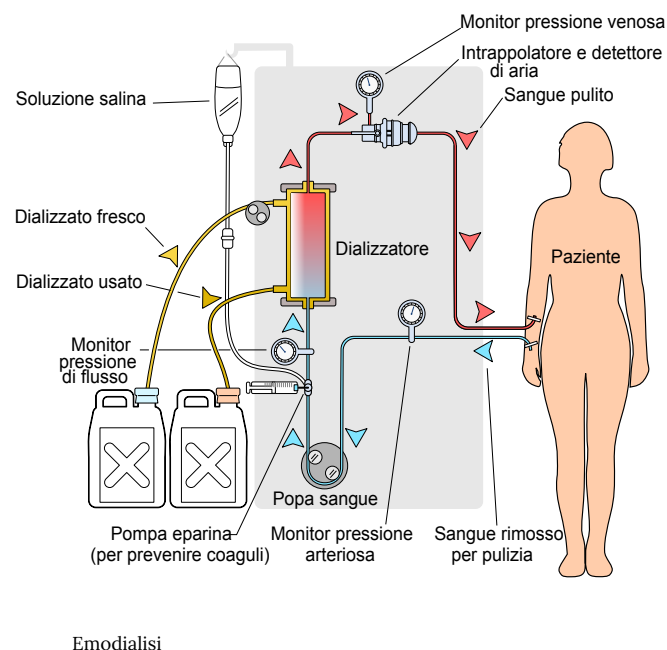


Figura 4. Dialisi Peritoneale Automatizzata

Questo aspetto è stato approfondito in uno studio randomizzato da Bro et al., che ha dimostrato come i pazienti in APD presentassero più problemi di sonno rispetto a quelli in CAPD, portando l'APD ad essere associata a una maggiore frequenza di sonnolenza diurna. Questo aspetto, tuttavia, presenta risultati contrastanti in base agli studi che si prendono in considerazione. In un altro studio messicano, ad esempio, confrontando 39 pazienti in CAPD, 42 in APD e 40 in emodialisi, il sonno non ristoratore, sintomo dell'insonnia, è risultato più comune nella CAPD. Diversamente, il russamento e le apnee osservate erano più frequenti nei pazienti in APD. In un'altra ricerca ancora la qualità del sonno è risultata simile per entrambe le modalità, mentre in un lavoro successivo in cui è stata impiegata la polisonnografia, l'APD è stata associata a un miglioramento della qualità del sonno e a una minore incidenza di apnea notturna, probabilmente grazie a un migliore controllo della volemia durante il sonno.¹³

In sintesi, contrariamente a quanto si potrebbe comunemente credere APD e CAPD non differiscono sostanzialmente né in termini di qualità di vita né di qualità del sonno. L'unico vantaggio indiscutibile dell'APD è rappresentato dalla maggiore libertà e autonomia del paziente durante le ore diurne. È importante sottolineare come la scelta tra CAPD e APD dipenda anche dalle caratteristiche di permeabilità del peritoneo all'acqua e ai soluti, che possono preferire l'uno o l'altro tipo di dialisi. Per conoscere le caratteristiche del peritoneo viene svolto il test PET (Peritoneal Equilibration Test), il quale valuta il rapporto di concentrazione di urea e creatinina nel sangue e nel liquido di dialisi.



Diversa per meccanismo e setting è invece l'emodialisi (HD), che si avvale di una macchina, chiamata dializzatore. Durante il trattamento, attraverso un ago di grosso calibro, il sangue viene prelevato da una fistola artero-venosa (FAV) confezionata chirurgicamente, e viene trasportato al cosiddetto “rene artificiale”, ossia il filtro dializzatore sintetico nel quale avverrà il processo di purificazione. Il filtro è composto da un doppio comparto nel quale viene utilizzata una membrana semipermeabile e in cui viene fatta fluire una soluzione acquosa arricchita di soluti nel secondo comparto. Il sangue depurato, infine, viene restituito al paziente. Questo tipo di seduta dura di norma 4 ore e viene eseguita solitamente tre volte a settimana.¹⁴

A livello mondiale circa l'11% dei pazienti in trattamento sostitutivo renale utilizza la dialisi peritoneale, con una maggiore diffusione nei paesi asiatici e dell'America Latina, mentre in Europa e in Italia la prevalenza rimane più contenuta, intorno al 15% dei pazienti dializzati. Tale dato riflette, non tanto una maggior preferenza per una terapia rispetto all'altra, quanto una scarsa familiarità nel contesto italiano della cultura nefrologica con la metodica peritoneale, fattore che ne ha mantenuto la prevalenza sostanzialmente invariata attorno al 10-15% per oltre trent'anni.¹⁵

2.4 GREEN NEPHROLOGY

Come già sottolineato in precedenza, la dialisi ha un consumo elevato di acqua e di energia, nonché un'importante produzione di rifiuti, che rendono questa terapia un trattamento con un impatto ambientale significativo, a cui si aggiunge la continua crescita della popolazione mondiale in trattamento dialitico, che secondo le stime potrebbe avvicinarsi ai 5 milioni di persone entro il 2025. Considerando le elevate quantità di risorse impiegate e di rifiuti prodotti per ogni singola seduta di dialisi, risulta evidente il significativo impatto ambientale associato a questa terapia.²

È necessario, quindi, sviluppare e applicare alcune misure che rendano la dialisi maggiormente sostenibile: uno degli strumenti utilizzati per trattare questa problematica è la nefrologia sostenibile, chiamata anche Green Nephrology. Esistono diversi approcci alla nefrologia sostenibile: questa può implicare l'implementazione di procedure sostenibili in dialisi, ma anche la formazione del personale sanitario circa un uso consapevole di tali procedure o il monitoraggio dei progressi per identificare eventuali opportunità di miglioramento.¹⁶

Nel 2010 il Prof. John WM Agar pubblica il primo articolo in cui si parla di “Green Dialysis”, descrivendo gli interventi di efficientamento attuati presso la sua clinica in Australia. Un primo abbattimento dell'impatto energetico presso

la sua clinica avvenne grazie all'integrazione di impianti fotovoltaici e fonti rinnovabili. L'illustre nefrologo australiano descrive come la gestione della risorsa idrica abbia richiesto un approccio analitico più complesso, focalizzando l'attenzione sul recupero dell'acqua di scarto dei sistemi di osmosi inversa, che solitamente viene dispersa nella rete fognaria. Dopo aver condotto analisi qualitative che hanno confermato standard di purezza sovrapponibili a quelli dell'acqua potabile urbana, è stato implementato un sistema di ricircolo per usi non clinici. In particolare, i fluidi recuperati sono stati reindirizzati per l'alimentazione dei servizi igienici, la sanificazione delle superfici, l'irrigazione di aree verdi e orti sociali all'interno delle strutture.

Questo pionieristico modello di "Green Dialysis" ha rappresentato il primo esempio concreto di economia circolare applicata alla nefrologia, aprendo la strada a numerose ricerche successive, focalizzate sull'ottimizzazione e il risparmio delle risorse naturali.¹⁵

Uno degli aspetti critici della dialisi dal punto di vista ambientale è senza dubbio il consumo d'acqua: la dialisi peritoneale utilizza volumi di dialisato inferiori rispetto all'emodialisi, tuttavia, analogamente a quanto avviene per l'emodialisi, si stima che per produrre ogni litro di acqua ultrapura destinata al dialisato siano necessari diversi litri di acqua grezza. Storicamente, il permeato non utilizzato e l'acqua di scarto derivante dalla membrana a osmosi inversa (RO) sono sempre stati convogliati direttamente negli scarichi, ma i più recenti sistemi di emodialisi hanno iniziato a introdurre soluzioni tecnologiche volte a ridurre il consumo idrico. Ciò è stato possibile con l'impiego di dispositivi di regolazione del flusso e di sistemi di ricircolo del permeato inutilizzato e di parte dell'acqua di scarto. Quest'ultima viene reimpressa all'ingresso dell'impianto per essere nuovamente trattata dalla membrana a osmosi inversa, consentendo una significativa riduzione degli sprechi d'acqua.²

In questo contesto di crescente attenzione alla sostenibilità delle pratiche dialitiche, il tema dell'impatto ambientale non riguarda esclusivamente gli aspetti tecnici, ma si estende a una riflessione più ampia di carattere etico. Infatti, non sono solo i professionisti del settore e i ricercatori a chiedere una sempre maggiore trasparenza e impegno per una dialisi più sostenibile, ma anche i pazienti stessi. Nel 2010 al Green Nephrology Summit il paziente nefropatico Andy Williamson dichiarò:

"Ero sempre più sconvolto nel rendermi conto di quanto, come paziente renale, dipendessi da risorse finite. Se si è in dialisi si utilizzano plastiche di altissima qualità, spesso una sola volta, per poi bruciarle o gettarle via o altro ancora. E sebbene io abbia ora la fortuna di aver ricevuto un trapianto, un giorno potrei dover tornare in dialisi, un giorno mia figlia potrebbe aver bisogno di una terapia sostitutiva renale, ed è per me assolutamente evidente che

*viviamo in un mondo in cui questo patrimonio di risorse fossili viene semplicemente consumato senza rifletterci davvero."*¹⁸

La nefrologia sostenibile è quindi una responsabilità collettiva che coinvolge ricercatori, clinici, istituzioni sanitarie e pazienti in egual misura, con delle ripercussioni anche sul piano etico.

2.5 DESIGN NELL'AMBITO SANITARIO

Il design ha assunto un ruolo sempre più rilevante all'interno del sistema sanitario negli ultimi decenni, diventando una pratica progettuale che incide sull'esperienza di cura nel complesso, invece di fungere da disciplina tecnica orientata alla funzionalità dei dispositivi medici, come è sempre stato in passato. Questo cambiamento di paradigma si è sviluppato in parallelo con una più ampia riflessione sul concetto di salute. La stessa OMS, nel 1948, stabiliva tra i principi fondativi della propria Costituzione:

"Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity"

Il concetto di salute, quindi, inizia a cambiare e non viene più inteso come mera assenza di malattia, ma come condizione di benessere fisico, psicologico e sociale; è stata questa visione ad ampliare il perimetro d'azione del design in ambito ospedaliero, ed è proprio in questo contesto che ha iniziato ad assumere un ruolo più olistico. Nel contesto sanitario è indubbio che sia i professionisti del settore che i pazienti che utilizzano apparecchiature e dispositivi medici possano incorrere in errori umani, e che ciò possa generare rischi significativi per la salute: è per questo che, in tale ambito, si è sempre posta l'attenzione sulla sicurezza, efficienza e usabilità del prodotto. È importante però tenere in considerazione, oltre all'aspetto funzionale della progettazione, tutte le esigenze, sia fisiche che psicologiche, dei pazienti, quelle dei diversi stakeholder e tutto il contesto reale di utilizzo del dispositivo medico. Tutto ciò è possibile solamente adottando un approccio di Human-Centred Design (HCD), che permette di progettare sia con l'usabilità che con l'esperienza emozionale dell'utente in mente, entrambi aspetti che sono di vitale importanza per il design medico. Con l'HCD si è sviluppato maggiormente l'interesse per la patient experience, che viene definita dal Beryl Institute come:

"La somma di tutte le interazioni, modellate dalla cultura di un'organizzazione, che influenzano le percezioni del paziente lungo l'intero percorso di cura."

Questi sviluppi non hanno toccato solo l'ambito del product design: anche il design degli spazi ospedalieri ha indubbiamente subito una trasformazione nel corso degli ultimi decenni, progettati tenendo conto del comfort e del benessere emotivo del paziente. Studi condotti in ambito di evidence-based design hanno dimostrato come variabili quali la luce naturale, l'acustica, la qualità dell'aria e la presenza di elementi naturali negli ambienti di cura influenzino positivamente la percezione del dolore e il livello di ansia nei pazienti ricoverati.^{19 20 21 22 23}

Questa attenzione agli spazi di cura negli ultimi anni è stata anche indirizzata alla sperimentazione di ambienti virtuali come strumento di supporto terapeutico. In tale contesto risulta significativo il contributo dell'architetto e docente Alessandro Biamonti, che da anni si occupa di terapie non farmacologiche per il trattamento della sindrome di Alzheimer, che ha brevettato un ambiente che simula una carrozza di un treno, da allestire nei centri di cura per i malati di Alzheimer. Egli dimostra come gli habitat, intesi come l'insieme di tutte le condizioni che vanno a determinare la nostra percezione di uno spazio, possano aiutare a combattere gli stati di ansia che accompagnano i malati:

“Da tempo cerchiamo di fornire quelli che chiamiamo habitat terapeutici, in cui si tengono insieme diverse componenti: estetica ed ergonomica – la cui importanza, sul fronte Alzheimer, non va mai sottovalutata – e soprattutto un’attenzione primaria alla qualità della vita delle persone. Per il nostro team, gli habitat sono stati un’importante tappa di un percorso partito dal design di interni, dove a un certo punto la dimensione strettamente fisica ha ceduto il passo ad elementi intangibili o soft qualities, legati alla sfera percettiva e sensoriale. Ci è stato molto utile mutuare il concetto di “habitat” dalla biologia, dove esso non corrisponde tanto a uno spazio quanto a un set di condizioni come umidità, temperatura, colori, suoni, ecc. (...)”^{24 25}

Ulteriori sviluppi sono quelli del service design, che si occupa di progettare i punti di contatto tra paziente e sistema sanitario, permettendo di identificare criticità nei percorsi di cura, e del Digital Health Design, che, con l'avvento delle tecnologie digitali, è in significativa espansione e comprende la progettazione di dispositivi indossabili per il monitoraggio dei parametri vitali e piattaforme di telemedicina.

Nonostante questi rilevanti progressi, la ricerca nel campo del design sanitario ha storicamente mostrato una difficoltà nel trovare un equilibrio tra le dimensioni economica, sociale e ambientale del progetto. La complessità intrinseca dei sistemi sanitari, caratterizzati da molteplici stakeholder e normative stringenti rende difficile l'applicazione di approcci progettuali tradizionali, i quali sono tendenzialmente circoscritti a singoli prodotti o servizi.

È in questo scenario che si è inserito, con un approccio trasversale, il Design Sistemico (DS). Il DS ha orientato l'innovazione verso soluzioni capaci di considerare simultaneamente tutti gli elementi dei sistemi e di trasformare le criticità rilevate in opportunità progettuali. Applicato alla dialisi, questo approccio apre la strada a una revisione sistematica del ciclo di vita dei dispositivi e dei processi logistici a esso connessi.²⁶

2.6 DESIGN SOSTENIBILE PER LA DIALISI: LO STATO DELL'ARTE

Come è già stato accennato in precedenza, tradizionalmente, lo sviluppo di apparecchiature biomedicali è stato guidato quasi esclusivamente da parametri di efficacia clinica e sicurezza del paziente, rendendo quindi l'impatto ecologico un fattore secondario. L'emergere della Green Nephrology e in generale della diffusione del design nell'ambito medico e ospedaliero, ha aperto spazio a un ripensamento progettuale del sistema dialisi, con l'esigenza di ripensare l'approccio attuale in un'ottica maggiormente orientata alla sostenibilità.

Una prima strada che è stata seguita è sicuramente quella dell'efficientamento dei macchinari, per la quale nel campo della dialisi ci sono stati importanti miglioramenti. Le moderne apparecchiature per emodialisi, per esempio, sono dotate di moduli intelligenti in grado di regolare automaticamente il flusso del liquido di dialisi in rapporto alla portata ematica del paziente. Dimostrazione di ciò è uno dei principali fornitori mondiali di prodotti e servizi per le persone con insufficienza renale cronica: Fresenius Medical Care, con una rete globale di oltre 4.000 cliniche per dialisi e 45 siti produttivi in diversi paesi. L'azienda ha introdotto sistemi (serie 5008 e 6008) capaci di regolare automaticamente il flusso del dialisato in base alle necessità emodinamiche del paziente. Questo adattamento dinamico consente di ridurre al minimo il consumo di dialisato nelle fasi di preparazione della seduta e al termine della reinfusione, riducendo drasticamente il consumo di acqua ed energia.^{27 28}

Parallelamente, andrebbe affrontato il tema del sovradimensionamento degli imballaggi in modo tale da ottimizzare così lo stoccaggio e il trasporto, considerando che attualmente i contenuti dei packaging occupano spesso solo il 50-75% dell'imballaggio complessivo. A questo proposito, risulta di particolare interesse il contributo di Ferraresi et al. (2014), che hanno analizzato sistematicamente la produzione di rifiuti in dialisi e i possibili interventi per ridurla, individuando sette aree critiche su cui intervenire per migliorare l'ecosostenibilità del trattamento emodialitico.²⁹

Un altro fenomeno che sta prendendo sempre più piede negli ultimi anni è quello della dematerializzazione dei processi logistici riguardanti la dialisi, un aspetto che verrà approfondito nei paragrafi successivi.

Digitalizzazione e Telemedicina

La telemedicina è divenuta negli ultimi anni una componente strutturale dei sistemi sanitari evoluti e in Italia in particolare vi è stata un'accelerazione dovuta alla pandemia. Nell'ambito del Digital Health, un concetto vasto derivante dall'intersezione tra le discipline relative all'assistenza sanitaria, la tecnologia e la trasformazione digitale, la capacità di integrare dati clinici, dispositivi connessi e piattaforme di comunicazione ha aperto scenari inediti nella gestione delle patologie croniche, riducendo la necessità di accessi ospedalieri e potenziando la presa in carico domiciliare.³⁰

Progetti come quello dell'Ospedale San Gerardo di Monza dimostrano che il monitoraggio online da remoto della seduta dialitica può favorire una "de-ospedalizzazione spinta". Difatti questo fu il primo progetto italiano in collaborazione con Fresenius Medical Care di teledialisi domiciliare on line, risalente al 2010, che permise al team di clinici della struttura di Monza di monitorare in tempo reale il trattamento dialitico, scaricando tutti i dati necessari dal rene artificiale presente al domicilio direttamente sui computer della struttura ospedaliera. Questa modalità, oltre ad avere evidenti vantaggi logistici per il paziente, permette a questo di essere costantemente monitorato, prevenendo complicanze come la peritonite e il drop-out. I risultati ottenuti dalla dialisi peritoneale automatizzata e dall'implementazione della teledialisi negli ultimi anni sono molto positivi: i pazienti si dimostrano soddisfatti della qualità di vita, del sonno e della gestione della propria salute, permettendo di attenuare il senso di abbandono e di promuovere una de-ospedalizzazione spinta, che è al cuore della riforma sanitaria territoriale.^{31 32}

Il 22,4% dei drop-out in DP sono dovuti all'impossibilità di proseguirla a causa di mancanza di un caregiver e/o sopraggiunta inabilità: in questi casi la Telemedicina può ridurre queste cause di drop-out evitando il ricorso ad altre modalità assistenziali più costose a livello economico e sociale. Questa dematerializzazione del processo logistico del trasporto del paziente, elimina molti viaggi all'anno per chi effettua il trattamento in centro ospedaliero.

In uno studio svolto presso l'Unità di Nefrologia e Dialisi dell'Ospedale Papardo di Messina, che ha osservato 73 pazienti in dialisi peritoneale nel periodo compreso fra gennaio 2016 e settembre 2023. Questo studio ha evidenziato un costo stimato di 958 € per paziente al mese (pari a 11.496 € per paziente all'anno) per i pazienti che si sono sottoposti a dialisi peritoneale automatizzata, comprensivo della fornitura del sistema di telemedicina, delle

apparecchiature dialitiche e dei costi del personale medico-infermieristico coinvolto. L'impegno economico risulta essere circa un terzo rispetto a quanto necessario per la gestione di un paziente in emodialisi trisettimanale, il cui costo medio annuo si attesta intorno ai 50.000 € per paziente all'anno. Tale differenza, già di per sé significativa, non tiene conto del capitale umano, ovvero il costo derivante dalla perdita di capacità produttiva legata alla malattia renale e alle disabilità correlate, tra cui le prolungate assenze dal lavoro. La dialisi domiciliare contribuisce inoltre a ridurre i costi indiretti, ovvero quelli legati al trasporto, stimati intorno ai 5.000 € per paziente all'anno per i trasferimenti tra il domicilio e il centro di emodialisi ospedaliero.

33

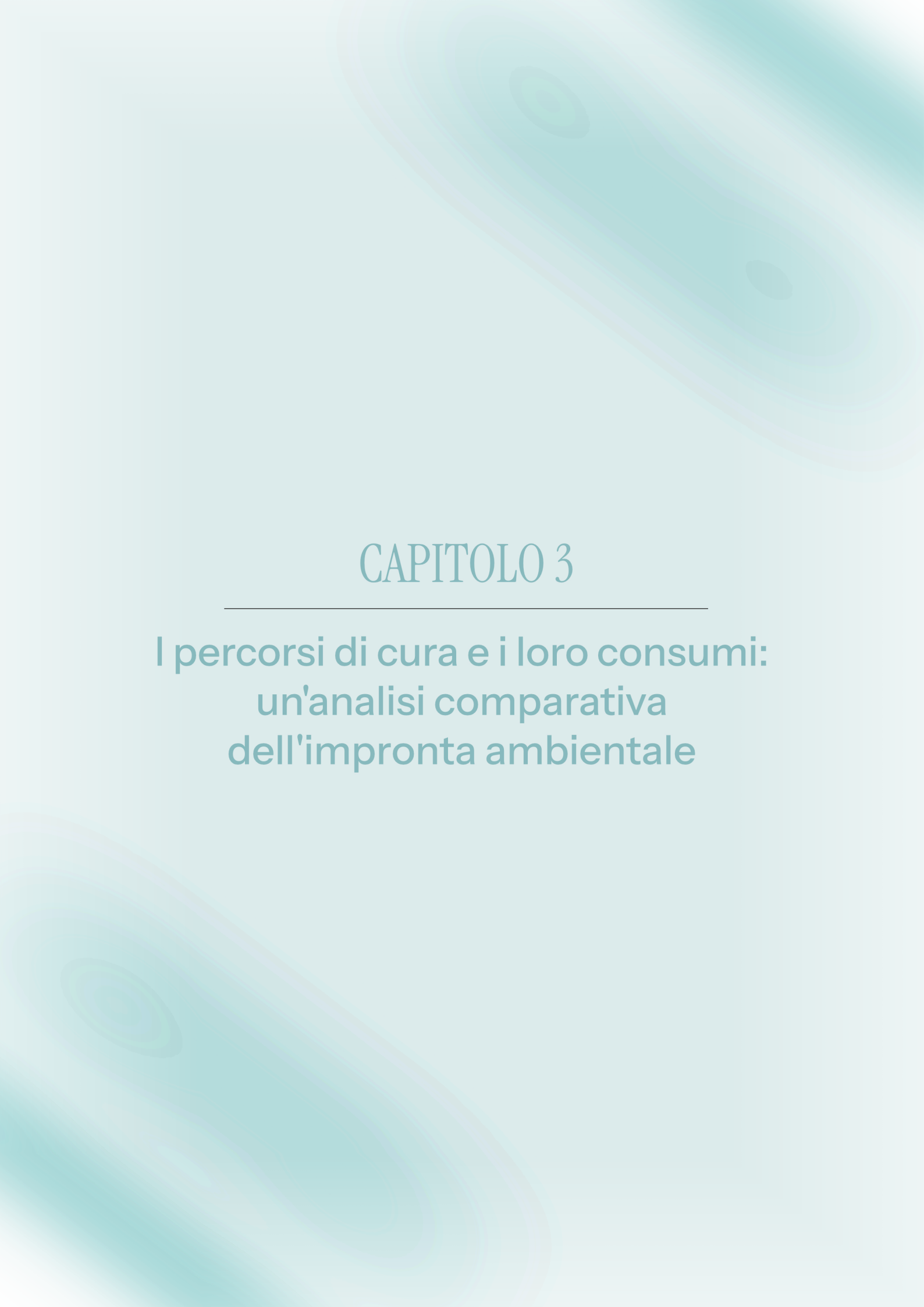
Questo insieme di dati conferma che la dialisi peritoneale domiciliare con monitoraggio da remoto rappresenta un modello assistenziale sostenibile ed efficace, in grado di coniugare appropriatezza terapeutica e riduzione dei costi per il sistema sanitario.

Riduzione degli sprechi e valorizzazione delle risorse

Dal punto di vista del design sistemico, la dematerializzazione porta a ripensare il prodotto non più come un oggetto isolato ma come parte di un sistema integrato. Questo approccio sistemico concepito per affrontare problemi complessi permette anche di analizzare i flussi di materia per trasformare l'output in input per un altro sistema, riducendo in tal modo la massa fisica totale dei rifiuti che dovranno poi essere gestiti logisticamente per essere smaltiti. Un esempio di ciò può essere il recupero idrico, con una metodologia pionieristica che è quello del Prof. John Agar, di cui si è parlato in precedenza a proposito della Green Nephrology.

Egli ha infatti implementato sistemi per recuperare l'acqua di scarto dei processi di osmosi inversa per alimentare servizi igienici o irrigare orti sociali nelle cliniche, dandogli un secondo utilizzo. Ciò è particolarmente collegato al concetto di eco-efficacia: infatti, al contrario dell'eco-efficienza, la quale si limita a ridurre i danni ambientali, sociali e economici, il modello di design Cradle-to-Cradle punta ad essere eco-efficace e quindi creare dei sistemi che, attraverso l'integrazione delle risorse utilizzate, abbiano un impatto positivo sull'ambiente con soluzioni innovative.²⁶

In sintesi, dematerializzare significa sostituire la massa fisica con intelligenza progettuale e dati digitali, facendo sì che la terapia abbia un minor impatto ambientale.



CAPITOLO 3

I percorsi di cura e i loro consumi:
un'analisi comparativa
dell'impronta ambientale

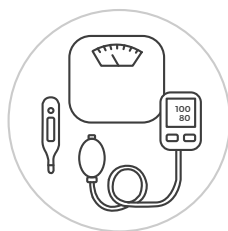
3.1 PATIENT JOURNEYS

Nel corso del secondo capitolo è stata già fornita una prima spiegazione delle differenze fra le diverse tipologie di dialisi, assieme alle conseguenze che ciascuna di esse ha sulla vita dei pazienti che vivono con queste terapie. Il presente capitolo si propone di analizzare ancora più in dettaglio il percorso del paziente nelle tre modalità dialitiche principali, CAPD, APD e HD, attraverso una descrizione accurata dei patient journey, per poi condurre una valutazione comparativa dell'impatto ambientale di ciascuna di queste modalità.

L'analisi effettuata è strutturata distinguendo tra impatti primari diretti, ovvero il consumo idrico, la produzione di rifiuti e il fabbisogno energetico, e impatti ambientali secondari: le emissioni associate alla produzione degli oggetti impiegati nelle sedute dialitiche e all'infrastruttura logistica e di trasporto. L'unità funzionale adottata per il confronto è una settimana di trattamento, che permette di realizzare un confronto tra modalità con frequenze operative profondamente diverse. Infatti, solitamente, sono previste tre sedute settimanali per l'HD, un ciclo notturno giornaliero per l'APD e tre-quattro scambi giornalieri per la CAPD.

L'obiettivo è quello di fornire un riferimento utile ad orientare le scelte di innovazione tecnologica e di progettazione dei percorsi di cura verso una maggiore consapevolezza dell'impatto ambientale delle terapie sostitutive renali. Questo aspetto è ancora più rilevante se si considera che ogni singola scelta all'interno del sistema dialisi ricorre per tutta la durata della vita del paziente.

PAZIENTI IN CAPD



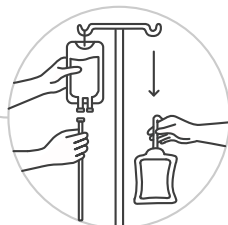
0. Misurazioni cliniche
mattutine



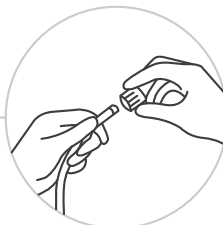
1. Preparazione
dell'ambiente



2. Riscaldamento del
dialisato



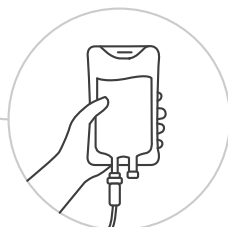
3. Esecuzione dello
scambio



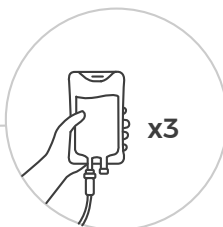
4. Disconnessione e
sigillatura



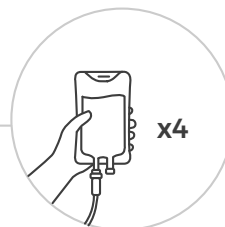
5. Cura del sito di uscita
del catetere



6. Secondo scambio



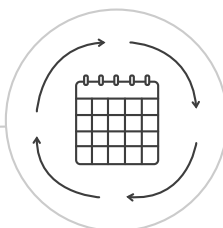
7. Terzo scambio



8. Quarto scambio



9. Registrazione finale



10. Ripetizione quotidiana
del trattamento

0. Attività necessarie prima della dialisi peritoneale

Il paziente inizia la giornata con una serie di rilevazioni cliniche che precedono qualsiasi attività dialitica, che hanno il fine di monitorare quotidianamente lo stato di idratazione e la risposta alla terapia. Come prima cosa il paziente si pesa a digiuno: la misurazione del peso corporeo è infatti uno degli indicatori primari dell'equilibrio idrico ed una variazione di oltre 1-1,5 kg rispetto al peso target concordato con il nefrologo può segnalare ritenzione idrica o, al contrario, disidratazione. Viene poi misurata la pressione arteriosa, con registrazione sul diario clinico personale e infine il paziente verifica la diuresi residua delle ore notturne registrandola, insieme alle caratteristiche del liquido di scarico dell'ultimo scambio notturno, che sono utili ad identificare precocemente eventuali segni di peritonite.

1. Preparazione dell'ambiente

Il paziente disinfetta l'area di lavoro. Inoltre, prima di maneggiare il catetere e il set di trasferimento, è sempre necessario lavarsi le mani e indossare una mascherina chirurgica.

2. Riscaldamento del dialisato

Il sacchetto di dialisato fresco, tipicamente da 2 litri, viene riscaldato a temperatura corporea, spesso con appositi scaldasacche a secco.

3. Esecuzione dello scambio

Una piccola quota di dialisato fresco viene fatta defluire nel sacchetto di scarico prima dell'infusione, per eliminare eventuali particelle o contaminanti dal circuito. Il sacchetto fresco viene quindi sollevato all'altezza della spalla per sfruttare la forza di gravità, e il dialisato entra nella cavità peritoneale. Il processo di riempimento richiede circa 30 minuti complessivi tra drenaggio e infusione.

4. Disconnessione e sigillatura

Al termine dell'infusione, il set di connessione viene disconnesso e il catetere viene chiuso con un cappuccio sterile. Quando il dialisato fresco è stato completamente infuso nell'addome e i sacchetti vengono rimossi; il paziente continua ad avere addosso solo un corto set di tubi coperto da un cappuccio

sterile e può riprendere le normali attività quotidiane. A questo punto il sacchetto di scarico viene pesato, il volume registrato sul diario clinico, e smaltito secondo le indicazioni locali per i rifiuti sanitari.

5. Cura del sito di uscita del catetere

La cura del sito di uscita del catetere deve essere eseguita almeno una volta ogni due giorni e rappresenta la principale misura preventiva contro le infezioni del tunnel sottocutaneo e la peritonite. Il paziente si lava le mani, rimuove la medicazione precedente, fa la doccia normalmente evitando di strofinare la zona dell'exit site, sciacqua abbondantemente e tampona delicatamente l'area con un asciugamano pulito. Successivamente, una garza sterile viene imbevuta di gluconato di clorexidina al 2%, applicata sull'exit site e lasciata asciugare all'aria per almeno 30 secondi. La zona viene quindi coperta con una garza sterile fissata con cerotto medicale traspirante. Il paziente documenta le condizioni del sito di uscita sul diario clinico, e in caso di comparsa di infiammazione o infezione all'exit site deve richiedere contatto immediato con il team di PD domiciliare.

6. Secondo scambio

Il secondo scambio viene eseguito con la stessa procedura del primo, generalmente prima o dopo il pasto di mezzogiorno. Il paziente prepara nuovamente l'ambiente, esegue l'igiene delle mani, indossa la mascherina, scalda il dialisato, drena il liquido esausto, verifica la limpidezza dell'effluente, esegue il flush e infonde il dialisato fresco. Il volume drenato va nuovamente registrato, come per ogni scambio.

7. Terzo scambio

La procedura di scambio viene svolta di nuovo con le modalità appena descritte.

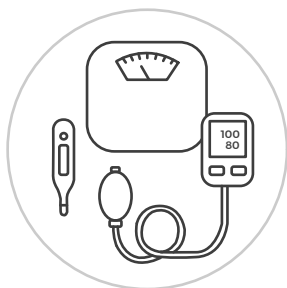
8. Quarto scambio

Gli scambi avvengono in media almeno tre o quattro volte al giorno. Tuttavia, tali scambi possono rivelarsi insufficienti a garantire un'adeguata depurazione, rendendo necessario un ulteriore ciclo di scambio, effettuato nelle ore notturne durante il riposo del paziente; in tal caso, si ricorre all'impiego di un cyclor automatizzato.

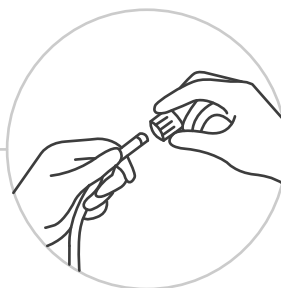
9. Registrazione finale

Prima di dormire, il paziente aggiorna il diario clinico con tutti i dati della giornata: peso mattutino, pressione arteriosa, numero di scambi eseguiti, volumi infusi e drenati per ciascuno scambio, volume della diuresi residua, caratteristiche dell'effluente, condizioni dell'exit site, eventuale assunzione di farmaci intraperitoneali prescritti. Nei sistemi di telemedicina integrata, questi dati vengono trasmessi direttamente al dossier elettronico del paziente per il monitoraggio remoto da parte del team nefrologico. ^{34 35 36}

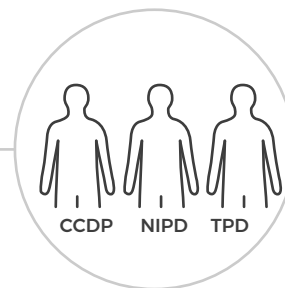
PAZIENTI IN APD



1. Misurazioni cliniche
mattutine



2. Disconnessione
mattutina del cyclor



2.1 Differenza fra CCDP,
NIPD o TPD



3. Cura del sito di uscita
del catetere



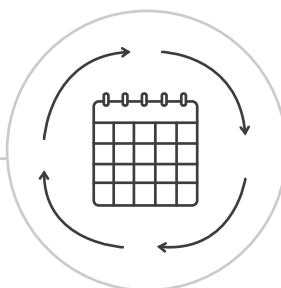
4. Preparazione serale
del cyclor



6. Connessione al catetere



7. Trattamento notturno
automatizzato



8. Risveglio e ripetizione
del ciclo quotidiana

1. Risveglio e misurazioni cliniche mattutine

Proprio come nella CAPD, la giornata del paziente in ADP inizia con le rilevazioni cliniche di routine: peso corporeo a digiuno, pressione arteriosa e registrazione della diuresi notturna residua sul diario clinico.

2. Disconnessione mattutina del cyclor

La prima azione che compie il paziente in dialisi è la disconnessione dal cyclor. Successivamente si lava accuratamente le mani e indossa la mascherina chirurgica, il cui utilizzo riduce il rischio di introduzione di batteri nel sistema. I dettagli del trattamento vengono registrati dal cyclor e possono essere monitorati in remoto dal team nefrologico. È poi necessario disconnettere il tubo dal catetere addominale e chiuderlo con un cappuccio sterile. A questo punto si presentano scenari distinti a seconda della prescrizione individuale:

SCENARIO 1 → CCPD (Continuous Cycling Peritoneal Dialysis)

La parola "continuous" indica proprio l'elemento che contraddistingue questa forma di ADP: il peritoneo non rimane mai asciutto ma vi è sempre dialisato presente, sia di notte che di giorno. Il cyclor, al termine dell'ultimo ciclo notturno, infonde un sacchetto finale di dialisato che rimane in addome durante il giorno. Grazie all'utilizzo dell'icodestrina, un polimero del glucosio derivato dall'amido, nella permanenza diurna si evita qualsiasi manovra aggiuntiva durante la giornata.

SCENARIO 2 → NIPD (Nocturnal Intermittent Peritoneal Dialysis)

In questa forma di dialisi si rimane senza dialisato in addome per l'intera giornata. Questa opzione è indicata per coloro che hanno una funzione renale residua sufficiente a garantire un'adeguata depurazione nelle ore diurne.

SCENARIO 3 → TPD (Tidal Peritoneal Dialysis)

La TPD è una variante in cui ad ogni ciclo notturno il dialisato viene drenato solo parzialmente, lasciando sempre un volume residuo in addome. Ciò permette di ridurre il dolore da drenaggio completo e ottimizza i tempi di scambio.

Successivamente alla disconnessione, va smaltito il sacchetto di drenaggio utilizzato durante la notte.

3. Cura del sito di uscita del catetere

La procedura di cura dell'exit site è identica a quella descritta per la CAPD: detersione, asciugatura, medicazione sterile e documentazione delle condizioni cutanee, e la frequenza è di almeno una volta al giorno anche per l'ADP. Non vi sono quindi differenze di protocollo in questo aspetto tra le due modalità dialitiche.

4. Preparazione serale del cycler

Come primo step della preparazione dello scambio notturno anche in questo caso il paziente prepara l'ambiente pulendo tutte le superfici. Prima di ogni trattamento, il cycler viene allestito con i tubi collegati a 10-15 litri di dialisato pulito e vanno collegati da tre a cinque sacchetti di dialisato al set di tubi del cycler, uno per ciascuno scambio programmato. La macchina può avere un tubo speciale per collegare il sacchetto dell'ultimo scambio notturno, che spesso contiene una soluzione a diversa concentrazione di icodestrina per la permanenza diurna successiva.

6. Connessione al catetere

È necessario lavarsi nuovamente le mani, indossare la mascherina e connettere il tubo del cycler al proprio catetere addominale. Poiché lo scambio APD avviene una sola volta al giorno, l'utente dialisato deve connettersi e disconnettersi dalla macchina soltanto una volta. Ciò riduce significativamente il rischio di infezione rispetto alla CAPD.

Infine, vanno verificati i parametri impostati sul display, poiché devono corrispondere alla prescrizione data dal medico: numero di scambi, volume per scambio, tempo di permanenza, volume finale. Una volta fatto ciò si può avviare la sessione e coricarsi.

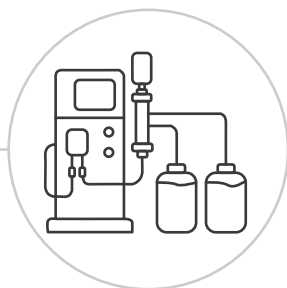
7. Trattamento notturno automatizzato

Il paziente dorme mentre il cycler lavora autonomamente, aggiungendo e drenando la soluzione dialitica circa sei volte nell'arco di un periodo di otto ore.^{37 31 32}

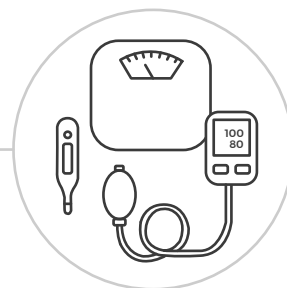
PAZIENTI IN HD



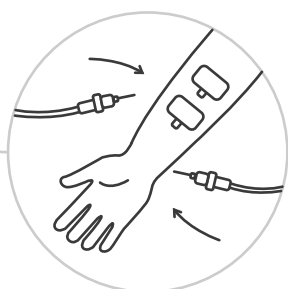
1. Trasporto verso il centro



2. Preparazione della dialisi



3. Valutazione pre-dialitica



4. Cannulazione e connessione alla macchina



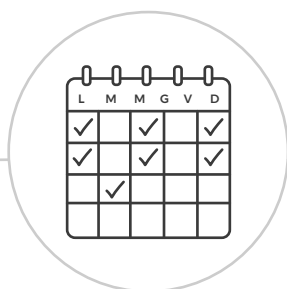
5. La seduta dialitica



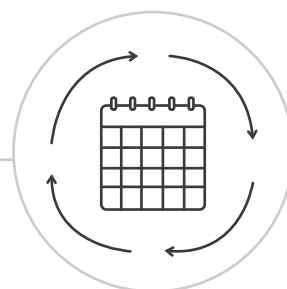
6. Fine seduta, disconnessione e valutazione post-dialitica



7. Ritorno a casa e recupero post-dialitico



8. I giorni interdialitici



9. Ripetizione della seduta dialitica circa tre volte a settimana

1. Trasporto verso il centro

Il paziente in dialisi raggiunge il centro dialitico, spesso tramite servizio di trasporto sanitario dedicato o accompagnato da un familiare. È proprio questa fase a rappresentare una delle componenti più onerose in termini di tempo e impatto ambientale dell'emodialisi rispetto alle terapie domiciliari.

2. Preparazione della dialisi

Prima della seduta il personale sanitario deve preparare l'attrezzatura per la dialisi. È necessario collegare il dializzatore, la soluzione di bicarbonato e la soluzione di concentrato acido, e infine allacciare i tubi artero-venosi con i quali il sangue passa attraverso il filtro. Inoltre, si avvia la fase di adescamento, che consiste nel rimuovere l'aria dal set di tubi e dal dializzatore facendo scorrere al loro interno una soluzione salina sterile.

3. Valutazione pre-dialitica

Prima di ogni dialisi l'utente viene pesato e la differenza tra peso all'attacco della dialisi ed il "peso secco", cioè il peso corporeo in assenza di eccesso idrico, sarà la quantità di acqua da togliere durante la dialisi. Avviene, poi, la misurazione della pressione sanguigna e della temperatura.

4. Cannullazione e connessione alla macchina

A questo punto l'infermiere esegue la cannulazione della fistola arterovenosa con tecnica appropriata, e i due aghi (uno arterioso, che preleva il sangue non ancora filtrato, e uno venoso, che restituisce il sangue dopo la filtrazione) inseriti nella fistola artero-venosa o attraverso un catetere toracico, vengono connessi al set di linee ematiche della macchina dializzatrice. Il paziente può essere collegato ad essa. Innanzitutto, si procede alla pesatura del paziente e alla misurazione della pressione sanguigna e della temperatura. Successivamente, il paziente viene collegato ai tubi del circuito ematico tramite gli aghi per fistola, che vengono inseriti nella fistola artero-venosa o attraverso un catetere toracico.

5. La seduta dialitica

L'infermiere può avviare l'apparecchiatura, che aziona le pompe peristaltiche che fanno scorrere il sangue attraverso il set di tubi e il filtro. Il macchinario controlla i flussi di sangue e dialisato per rimuovere liquidi e tossine in eccesso. Le sedute durano tipicamente dalle tre alle cinque ore, che solitamente vengono svolte tre volte a settimana, anche se per alcuni pazienti sono di più e per altri meno. In passato venivano svolte sedute di durata

inferiore alle 4 ore, ma ad oggi queste vengono considerate una variante eccezionale, perché poco efficienti. Durante la dialisi, i parametri vitali vengono monitorati ogni 15-30 minuti e il personale valuta eventuali complicanze come ipotensione o crampi muscolari.

6. Fine seduta, disconnessione e valutazione post-dialitica

Al termine della seduta la macchina esegue la reinfusione del sangue. L'apparecchiatura si arresta e vengono rimossi gli aghi dalla fistola. Il paziente viene pesato di nuovo e confrontato con il peso pre-dialisi per verificare che la quota di ultrafiltrazione programmata sia stata rimossa. Vengono misurate nuovamente anche pressione arteriosa e frequenza cardiaca.

I prodotti monouso vengono smaltiti e tutta l'apparecchiatura impiegata viene pulita e disinfettata automaticamente con un processo termico o chimico.

7. Ritorno a casa e recupero post-dialitico

Il paziente torna a casa. Il periodo successivo alla dialisi è spesso caratterizzato da quello che la letteratura clinica definisce fatigue post-dialitica.

8. I giorni interdialitici

Nei giorni tra i trattamenti il paziente deve quindi monitorare quotidianamente il proprio peso, stimare l'apporto idrico nelle 24 ore e mantenersi entro i limiti prescritti. Nei giorni intradialitici il paziente ha la responsabilità quotidiana di controllare visivamente e palpatoriamente la propria fistola arterovenosa.^{26 36 40}

3.2 CONSUMI E IMPATTO AMBIENTALE DI CIASCUNA MODALITÀ DIALITICA

1. CAPD

Impatti primari

Liquidi

La dialisi peritoneale non richiede il consumo diretto di acqua (un fattore che invece risulta rilevante nella dialisi emodialitica). Nella CAPD vengono solitamente utilizzati però dai 6 agli 8 litri di dialisato al giorno. Questa quantità viene suddivisa in 4 o 5 scambi quotidiani, ciascuno dei quali richiede l'infusione in addome di 2 litri di soluzione sterile. Prendendo come riferimento una settimana di trattamento si arriva quindi a volumi intorno ai 2000 litri di dialisato. Va ribadito come la produzione dei componenti richieda quantità significative di acqua a monte nella catena di fornitura: il processo di produzione di ciascuna sacca da 2 litri per dialisi peritoneale richiede circa 28 litri d'acqua, sulla base dei consumi idrici standard per la produzione di plastica. I litri d'acqua consumati per la sola produzione delle sacche da 2 litri

saranno quindi quasi 800 a settimana. Di conseguenza, l'impatto idrico complessivo della dialisi peritoneale comprende sia il volume del dialisato stesso, sia il consumo indiretto di acqua insito nei materiali di imballaggio.

Nella comparazione finale dei consumi delle diverse modalità dialitiche si è deciso di considerare però solo i litri di dialisato consumato: infatti è molto complesso stabilire con precisione le quantità di acqua derivanti dalla produzione di sacche, imballaggi e tutti i consumi indiretti connessi alla dialisi, e la comparazione finale potrebbe condurre a conclusioni distorte o fuorvianti.



Rifiuti

Questo tipo di dialisi è caratterizzata dalla produzione di elevati volumi di rifiuti sanitari, circa 320 kg all'anno per paziente. Uno studio condotto nel Regno Unito ha rilevato come le persone sottoposte a dialisi peritoneale ambulatoriale continua (CAPD) con quattro scambi quotidiani producano circa 1,69 kg di rifiuti solidi al giorno, di cui oltre la metà, circa 343 grammi, costituita da plastica in PVC.

Proprio a causa dei frequenti scambi la CAPD produce una quantità elevata di rifiuti in cartone e carta per il packaging, generando grandi quantità di rifiuti non biodegradabili. Gli involucri in plastica utilizzati per proteggere le sacche del dialisato e di drenaggio durante lo stoccaggio e il trasporto sono solitamente realizzati in PP, PE o laminati multistrato di poliolefine. Questi elementi finiscono solitamente nel flusso dei rifiuti generici, contribuendo in modo significativo alla produzione di rifiuti di plastica monouso, sebbene non siano pericolosi e siano teoricamente riciclabili.

In un altro studio realizzato in Australia viene riportata una dettagliata analisi dei materiali consumati e dei rifiuti generati lungo il ciclo terapeutico, sintetizzata nella Tabella riportata di qui di seguito.

Dalla tabella è possibile osservare come la produzione di rifiuti giornaliera di un paziente in CAPD, prendendo come riferimento un regime giornaliero standardizzato, sia di 9.2 kg. Bisogna rimuovere da questa Tabella i valori relativi al dialisato con destrosio e dialisato con icodestrina, poiché riguardano i consumi di liquidi già affrontati nel paragrafo precedente relativo ai consumi dell'acqua. Rimuovendo questi 8 litri il consumo giornaliero di soli rifiuti è di circa 1,2 kg. Considerando l'unità funzionale di riferimento di una settimana il consumo sarà di circa 9 kg.

Si evidenzia però come questo studio non prenda in considerazione i rifiuti derivanti dai packaging di tutti i prodotti consumati. Proprio a causa dei frequenti scambi la CAPD produce una quantità elevata di rifiuti in cartone e carta per il packaging, generando grandi quantità di rifiuti non biodegradabili. Gli involucri in plastica utilizzati per proteggere le sacche del dialisato e di drenaggio durante lo stoccaggio e il trasporto sono solitamente realizzati in PP, PE o laminati multistrato di poliolefine. Questi elementi finiscono solitamente nel flusso dei rifiuti generici, contribuendo in modo significativo alla produzione di rifiuti di plastica monouso, sebbene non siano pericolosi e

CAPD

3 × 2 L dextrose solution 2.5%
1 × 2 L icodextrin solution
—
—
4 × Minicap with povidone-iodine
—
20 × paper towel
100 cm Yu-ki ban tape
Primapore dressing
5 × cotton gauze
Total consumable weight: 9.2 kg

Rifiuti in kg di una giornata di trattamento CAPD

siano teoricamente riciclabili.

In un altro recente studio di life cycle assessment sulla dialisi peritoneale (Larkin et al., 2026), la quantità complessiva di rifiuti (generalisti e clinici) generata dalla CAPD è stimata pari a 320 kg per paziente all'anno, che corrisponde a una produzione media di circa 6 kg a settimana. Ai fini del confronto tra le diverse modalità dialitiche, si farà riferimento a questo dato, in quanto più completo e comprensivo anche dei materiali di imballaggio associati ai consumabili.

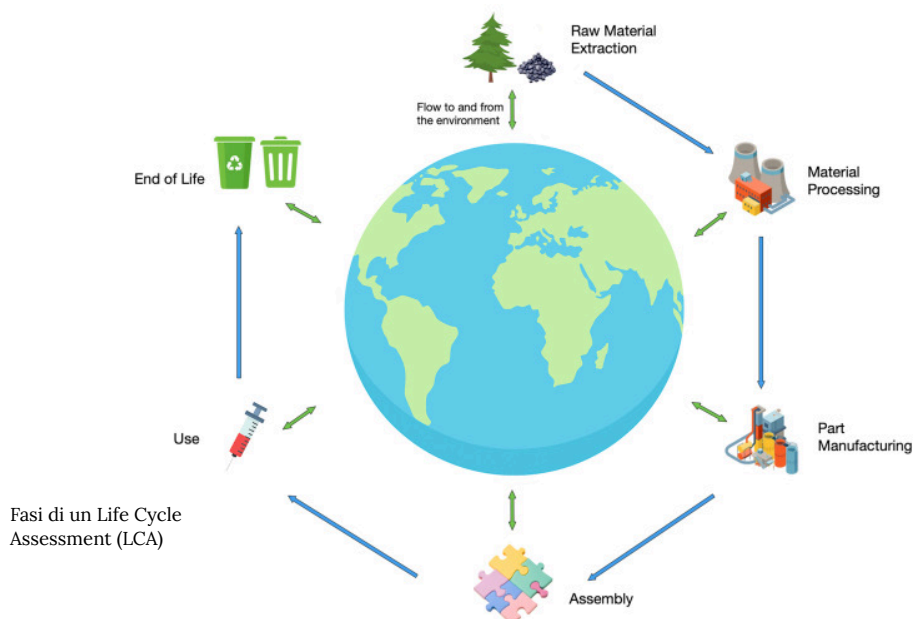
Energia

Questa modalità presenta il minor consumo energetico diretto tra le tre, poiché non richiede l'uso del cyclor durante il trattamento, e l'energia elettrica che viene utilizzata a casa è strettamente dovuta al riscaldamento delle sacche prima che avvenga lo scambio. Considerando 24 ore di trattamento è stimato che l'energia necessaria a un dispositivo di riscaldamento del dialisato di 720.0 Wh. Per i consumi domestici impieghiamo i kilowattora (kWh) e quindi si otterrà un consumo giornaliero di 0,72 kWh, assumendo a fini di calcolo dei consumi che il dispositivo rimanga sempre acceso, per un totale di 5 kWh settimanali.

Impatti secondari

Produzione dei materiali

Uno studio di un centro di dialisi cinese ha rivelato che circa l'80%



dell'impronta di carbonio della PD è attribuibile ai materiali di imballaggio, tra cui sacche di plastica per dialisi, imballaggi esterni e scatole di cartone. La CAPD in particolar modo dipende fortemente da plastiche monouso, in particolare polietilene e PVC. È inoltre rilevante notare come le sacche da 2 litri utilizzate nella CAPD risultino più intensive in termini di emissioni di carbonio per litro di dialisato (0,626 kg CO₂e/L) rispetto a quelle da 5 litri usate nell'ADP. Il consumo di risorse dovuto alla produzione di materiali nella presente ricerca verrà confrontato tenendo conto dell'impatto delle emissioni di carbonio annuale. Le emissioni di carbonio per paziente legate ai materiali di consumo su base annuale sono stimate pari a 1.351 kg CO₂-eq.

Trasporti

Il trasporto dei materiali di consumo dagli stabilimenti di produzione al domicilio del paziente rappresenta, in diversi studi di life cycle assessment sulla dialisi peritoneale, una componente significativa dell'impatto ambientale complessivo, risultando generalmente seconda solo all'impatto relativo alla produzione dei materiali. Va inoltre considerato che, essendo la CAPD una terapia domiciliare, riduce drasticamente la necessità di accessi ospedalieri da parte del paziente, limitandosi generalmente a una visita di controllo mensile. L'impatto annuale si attesta attorno ai 618 kg CO₂-eq.^{41 42 43 44 45 46}

2. APD

Impatti primari

Liquidi

Va ricordato che non è possibile stabilire un numero preciso relativo al consumo di dialisato in quanto questo valore varia da paziente a paziente, ma un tipo di prescrizione standard, ad esempio, è di due sacche da 5 litri durante la notte e una permanenza diurna da 2 litri al giorno. Questa modalità di dialisi utilizza solitamente un volume di liquido che varia dai 10 ai 15 litri prendendo in considerazione una giornata intera di trattamento, con punte fino a 20 litri per i pazienti con alta permeabilità peritoneale.

Rifiuti

I rifiuti solidi includono il cassette/set di tubi del cyclor (un unico kit monouso da 150-250 grammi di plastica) e i materiali per la cura dell'exit site. Questo tipo di dialisi produce circa 374 kg CO₂-eq/anno solo per il waste management, e possiamo quindi calcolare un consumo di circa 800 grammi a seduta. Per questa raccolta dati finalizzata a un confronto finale tra le diverse

tipologie di dialisi si presentano nuovamente i dati dello studio condotto da Nicdao et al. (2025), di cui si presenta la tabella relativa ai rifiuti di questa modalità dialitica. Anche da questa analisi, come nella CAPD, devono essere esclusi i 14 litri di dialisato, in quanto non pertinenti a questa categoria. I consumi settimanali esclusivamente dei consumabili clinici diretti possono essere stimati quindi in circa 12 kg.

Nel testo di Larkin et al., 2026 la produzione annuale dei rifiuti, considerando anche i rifiuti derivanti da materiali ausiliari come il packaging, è invece di 145 kg, e quindi 2,7 kg settimanali.

Energia

Il consumo energetico è significativamente più alto rispetto alla CAPD a causa dell'uso notturno del cycler che si occupa di azionare pompe e valvole, riscaldare il dialisato fino a circa 37 gradi e alimentare il sistema elettronico di controllo. L'elettricità necessaria per il funzionamento della macchina contribuisce in modo determinante alle emissioni annuali di CO₂-eq. Il consumo medio stimato per sessione si colloca in un intervallo compreso tra 1101.1 Wh e 1651.6 Wh, il cui valore dipende dalle ore di trattamento, che variano dalle 8 alle 12. Convertendo i dati in kWh otterremo un consumo settimanale di 11,5 kWh settimanali.

APD
2 × 6 L dextrose solution 2.5%
1 × 2 L icodextrin solution
C15 L cycler drainage bag
HomeChoice Automated PD Set
Minicap with povidone-iodine
Opticap
10 × paper towel
50 cm Yu-ki ban tape
Primapore dressing
2 × cotton gauze
Total consumable weight: 15.7 kg
Rifiuti in kg di una giornata di trattamento ADP



Impatti secondari

Produzione dei materiali

Utilizza una maggiore quantità di polipropilene e PVC rispetto alla CAPD, specialmente nei set di tubi dedicati. Le sacche da 5 litri risultano più efficienti dal punto di vista ambientale per unità di fluido consegnato. Tuttavia, l'impatto derivante dagli imballaggi, in particolare dal cartone ondulato, è rimasto considerevole, ammontando a oltre 300 kg di CO₂-eq all'anno. Complessivamente il consumo associato alla produzione e

alla gestione dei materiali necessari alla realizzazione dei componenti del sistema di dialisi APD in un anno è pari a 2.152 kg CO₂-eq.

Trasporti

Il trasporto delle pesanti forniture di dialisato nelle sacche da 5 litri genera emissioni elevate, stimate in circa 1062 kg CO₂-eq all'anno, rendendolo uno dei principali fattori di impatto per questa modalità dialitica. È rilevante evidenziare come, a parità di volume considerato, il sacchetto da 2 litri presenti un'impronta di carbonio maggiore rispetto a quello da 5 litri. Ciò evidenzia come l'uso di sacche più capienti può contribuire a ridurre al minimo l'impatto ambientale grazie a una maggiore efficienza nell'imballaggio e nel trasporto rispetto all'utilizzo di sacche più piccole di dialisato. Le emissioni annuali associate al trasporto del dialisato e degli altri componenti del sistema sono pari a 1.055 kg CO₂-eq.^{42 47 44 48}

3. HD

Impatti primari

Acqua

L'emodialisi è senza dubbio la modalità più idroesigente. Una singola seduta di HD consuma mediamente tra 370 e 600 litri d'acqua (incluso il trattamento di osmosi inversa e la disinfezione). Con tre sedute settimanali, un paziente in HD consuma indirettamente 900-1.500 litri di acqua a settimana solo per il trattamento, a cui si deve sommare il consumo dell'impianto centralizzato di trattamento idrico del centro.

Rifiuti

Produce una vasta gamma di rifiuti, tra cui filtri dializzatori, linee ematiche e contenitori di concentrato acido. Uno studio americano condotto nel 2022 afferma che i rifiuti destinati alle discariche sono la quarta principale fonte di emissioni totali di gas serra dell'emodialisi. L'uso di sistemi centralizzati di distribuzione dell'acido (come il Granumix)

In-Center Hemodialysis

Bloodline (Novaline)
Dialyser (Polyflux 210H)
Bicart
C298 Softpac
Fistula pack
0.5 × CleanCart
1,000 mL saline
2 × injection pad
200 cm Yu-ki ban tape
2 × plastic apron 10 × nitrile gloves 2 × 10 mL Saline vial
2 × 10 mL syringe
2 × 18 g drawing up needle
2 × paper towel
Yellow bag
2 × chlorohexidine swab
10 × Clinell wipe
Bluey
Cotton wool ball
Total consumable weight: 6.4 kg

può ridurre drasticamente la produzione di plastica monouso e lo scarto di soluzione inutilizzata. Lo studio australiano di Nicdao et al. (2025), usato come riferimento anche per le altre tecniche dialitiche, afferma che i rifiuti prodotti settimanalmente sono 44,8 kg.

Energia

L'HD è tra le procedure mediche a più alta intensità energetica, richiedendo circa 5-15 kWh per singola sessione, un notevole fabbisogno energetico che deriva da diversi aspetti del processo di trattamento, primo fra tutti il funzionamento della macchina per dialisi e impianto a osmosi inversa. Prendendo in considerazione tre trattamenti medi a settimana per i pazienti di questo tipo di dialisi possiamo calcolare consumi che arrivano fino ai 105 kWh settimanali.

Impatti secondari

Produzione dei materiali

La produzione degli elementi che compongono il sistema emodialitico ha un impatto rilevante che deriva dalla produzione massiva di materiali plastici per consumabili monouso. L'impatto annuale complessivo ammonta a 2,213 kg CO₂-eq.

Trasporti

Questa categoria rappresenta l'impatto più pesante per l'HD, costituendo circa il 71% delle emissioni totali. Di queste, in base a uno studio portato avanti con dati relativi ai viaggi per emodialisi in Irlanda, il viaggio del paziente verso il centro tre volte a settimana è il driver principale, contribuendo per circa 2.548 kg CO₂-eq annui, ovvero circa il 57% dell'impronta di carbonio complessiva del percorso. Gli spostamenti del personale contribuiscono con 615 kg di CO₂-eq (14%). Altri studi presentano cifre più contenute per il trasporto, ma che risultano comunque molto elevate, con un impatto di CO₂ di 1.782 kg CO₂-eq annuali.^{49 42 50}

HD	
	Consumo acqua / settimana 1.500 L
	Rifiuti / settimana 44,8 kg
	Energia / settimana 105 kWh
	Produzione materiali/ anno 2.213 kg CO₂-eq
	Trasporti / anno 1782 kg CO₂-eq

3.3 TAVOLA COMPARATIVA FINALE DEI CONSUMI DELLE DIVERSE MODALITA' DI DIALISI

Categoria d'impatto	CAPD	ADP	HD
IMPATTI PRIMARI - settimanali			
<i>Consumo di liquidi</i>	42 L	105 L	1500 L
<i>Rifiuti</i>	6 kg	2,7 kg	44,8 kg
<i>Consumo energetico</i>	5 kWh	11,5 kWh	105 kWh
IMPATTI SECONDARI - annuali			
<i>CO₂-eq produzione dialisato e materiali</i>	1.351 kg CO ₂ -eq	2.152 kg CO ₂ -eq	2.548 kg CO ₂ -eq
<i>CO₂eq trasporti logistica e pazienti</i>	618 kg CO ₂ -eq	1.055 kg CO ₂ -eq	1.782 kg CO ₂ -eq
Frequenza media di trattamenti per settimana	28 scambi (4 al giorno)	7 cicli (di 4 scambi)	3 sedute

Sintesi dei valori di impatto ambientale emersi dall'analisi.

Dai dati esposti nel presente capitolo è possibile realizzare una comparazione completa e abbastanza esaustiva degli impatti delle tre principali modalità dialitiche. Come con l'impostazione adottata nell'esposizione dei diversi dati di consumo, la seguente analisi comparativa è strutturata distinguendo impatti primari, ovvero quelli generati direttamente nel momento e nel luogo in cui la terapia viene erogata, e quelli secondari, impatti legati alla produzione di materiali e dialisato e ai trasporti.

Per quanto riguarda il confronto sul consumo di liquidi è opportuno ribadire una precisazione metodologica già introdotta nel corso del capitolo. Per l'emodialisi è stato considerato il consumo diretto di acqua che avviene all'interno del centro di dialisi, mentre per la CAPD e APD il confronto è stato effettuato sulla base del solo volume di dialisato utilizzato. Tale scelta deriva dalla volontà di presentare un consumo di liquidi diretto e quindi impiegato durante il trattamento del paziente. Mentre per l'emodialisi questo dato comprende il funzionamento dell'intero sistema tecnologico necessario alla produzione del liquido di dialisi e comprende processi e apparecchiature presenti nella struttura sanitaria, nelle terapie domiciliari il principale consumo di liquidi è rappresentato dal dialisato stesso, con un consumo di risorse che riguarda più la produzione piuttosto che il consumo di acqua del paziente. Alla luce di queste premesse metodologiche, si può notare come l'emodialisi si configuri come la terapia più gravosa, con 1.500 litri di acqua consumati e un consumo idrico settimanale che supera di molto quello dell'APD e della CAPD (rispettivamente di 105 e 42 litri). Il divario è importante anche per il fabbisogno energetico. L'HD, infatti, richiede il funzionamento continuo di impianti di osmosi inversa centralizzati e il riscaldamento di grandi volumi di soluzione. Il consumo energetico ammonta a 105 kWh settimanali per l'emodialisi, a 5 kWh per la CAPD e 11,5 kWh per l'APD. Questo dato è ancora più significativo se si considera la diversa frequenza dei trattamenti: le sedute di emodialisi avvengono tre volte a settimana, contro i ventotto scambi della CAPD e i sette cicli notturni dell'APD.

È anche interessante osservare il confronto fra APD e CAPD: quest'ultima, infatti, presenta un consumo di dialisato e di energia decisamente inferiore rispetto alla terapia automatizzata ma, tuttavia, produce una quantità di rifiuti che ammonta a circa il doppio rispetto all'altra (6 kg contro 2,7 kg). Il minor d'impatto della CAPD per dialisato ed energia è dovuta all'assenza di un cyclor, mentre la frequenza di manovre durante la giornata di numerose sacche di piccolo formato porta a una produzione di rifiuti maggiore. Per quanto riguarda gli impatti secondari l'emodialisi risulta consumare maggiormente anche nel caso dell'inquinamento dovuto alla produzione dei materiali di consumo con 2.213 kg CO₂-eq annuali. In questo caso la distanza con l'APD, che produce 2.152 kg CO₂-eq all'anno, è meno marcata, mentre la CAPD presenta il valore più contenuto con 1.351 kg CO₂-eq.

Anche l'impatto dei trasporti segue la stessa scala di consumi. L'HHD consuma maggiormente (1.782 kg CO₂-eq annuali) a causa dell'elevato numero di spostamenti dal domicilio al centro dialitico degli utenti. Oltre agli spostamenti dei pazienti vengono considerati anche i consumi derivanti dal trasporto della logistica e del personale. Altri studi citati all'interno del capitolo stimano questo dato anche ben più elevato (fino a circa 3.163 kg CO₂-eq/anno).

Nel complesso, dai dati raccolti possiamo confermare come le terapie dialitiche domiciliari, e in particolare la CAPD, rappresentino la scelta con minor impatto ambientale, grazie a un consumo idrico ed energetico molto contenuto e alla possibilità di ridurre drasticamente gli spostamenti dei pazienti. L'emodialisi risulta decisamente meno sostenibile dal punto di vista ambientale e se consideriamo che ad oggi, a livello mondiale solo circa l'11% dei pazienti in trattamento sostitutivo renale utilizza la dialisi peritoneale, questi dati risultano decisamente degni di attenzione.

CAPITOLO 4

**Lo stato dell'arte dell'innovazione
sostenibile: KitNewCare**

4.1 KITNEWCARE: INNOVAZIONI SOSTENIBILI NELLA DIALISI

Parlando di sostenibilità legata all'ambito della dialisi è rilevante menzionare il progetto KitNewCare, un progetto europeo finanziato dal programma Horizon Europe finalizzato allo sviluppo di modelli di assistenza nefrologica sostenibile. Questo progetto mira a ridurre l'impatto ambientale della cura delle malattie renali promuovendo un approccio integrato alla sostenibilità. Rappresenta inoltre un esempio di collaborazione internazionale, in quanto coinvolge università, ospedali, aziende biomedicali e associazioni europee di pazienti, tra cui Trinity College Dublin, European Kidney Patients Federation e B. Braun.

Il progetto Innovation Matrix in Work Package 4 in particolare funge da inventario strutturato di soluzioni che hanno l'obiettivo di rendere più sostenibile l'assistenza nefrologica. La pubblicazione di queste tabelle di dati e la loro divulgazione permette di dare visibilità a idee degne di nota e a fornire un archivio, pubblico e aggiornato, permettendo di misurare nel tempo i progressi del settore, fungendo da memoria collettiva.

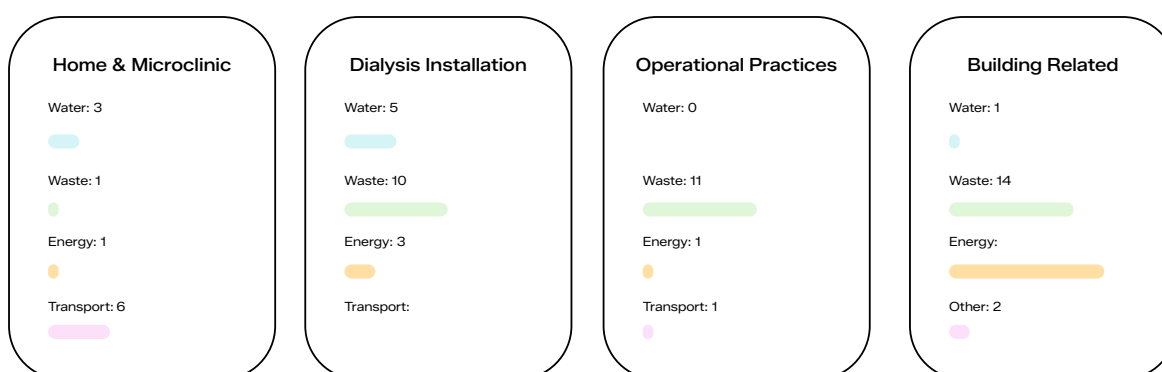
Questo archivio è di particolare interesse poiché divide tutte le varie innovazioni in diverse categorie, classificandole poi per contesto d'applicazione, azienda produttrice e aree ambientali su cui agisce l'innovazione. Al fine di analizzare al meglio le innovazioni raccolte nelle risorse messe a disposizione dal progetto KitNewCare, è stato innanzitutto necessario esaminare e rielaborare le tabelle contenenti le proposte sostenibili, per avere una base conoscitiva solida e strutturata, necessaria per lo sviluppo delle successive analisi. Come evidenziato dagli stessi promotori del progetto, il database deve essere considerato uno strumento dinamico e in evoluzione, che può essere aggiornato e ampliato qualora lo si ritenga opportuno.

Le tabelle elaborate, presenti nell'Allegato 1, consentono di avere una rappresentazione sintetica dei contenuti del file Excel condiviso da KitNewCare, rendendo più agevole la lettura e l'interpretazione dei dati. A supporto di tale analisi sono state inoltre realizzate rappresentazioni grafiche e diagrammi che offrono una rappresentazione visiva della distribuzione delle innovazioni nelle diverse aree tematiche individuate, permettendo di cogliere immediatamente le principali tendenze e gli ambiti maggiormente interessati dalle proposte di innovazione sostenibile.

4.2 MATRIX OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS - Un'analisi approfondita

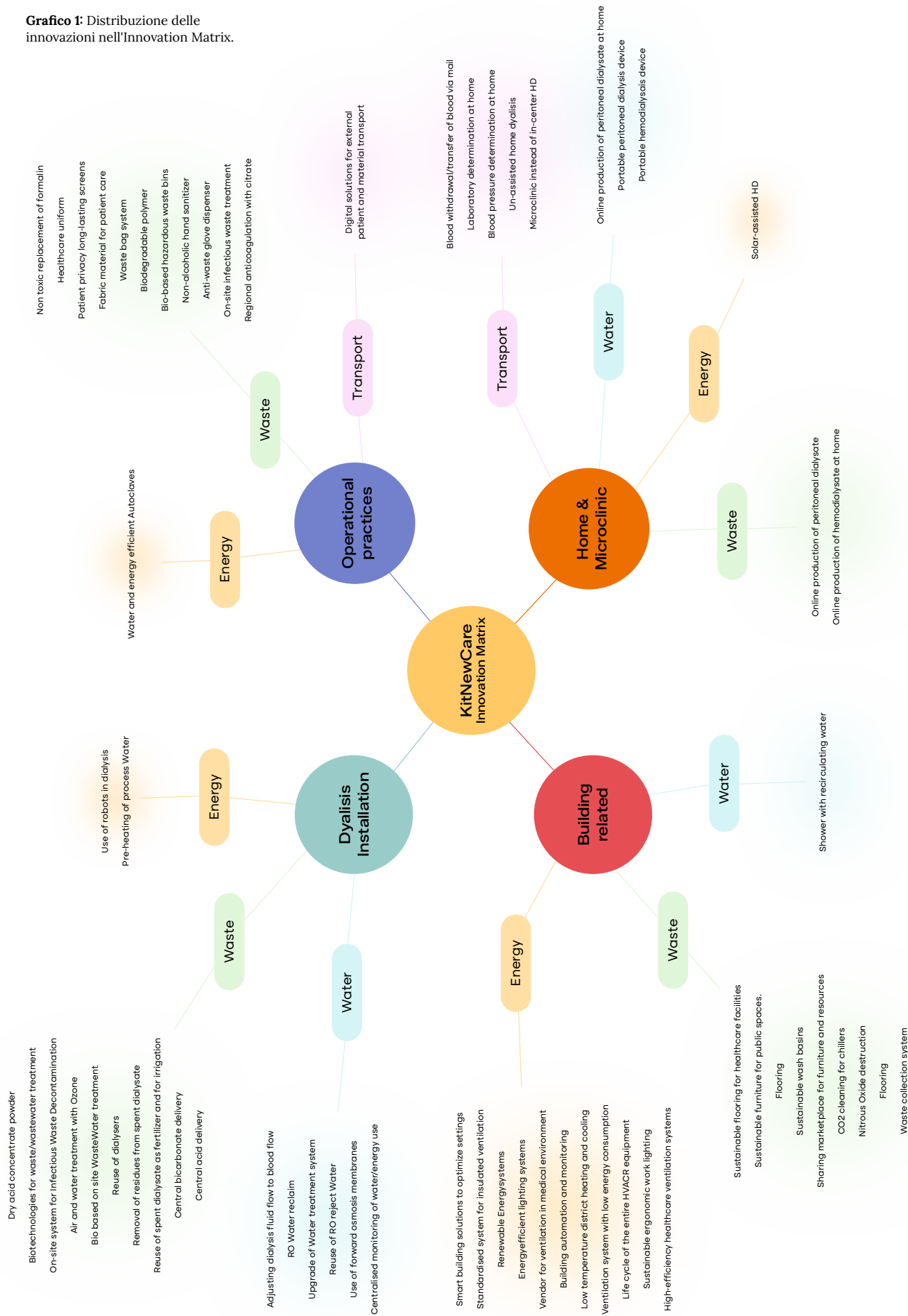
Un confronto tra le aree tematiche per categoria permette di identificare quali siano gli ambiti ambientali maggiormente toccati da queste innovazioni tecnologiche. Per la seguente analisi si farà quindi riferimento ai grafici che mostrano visivamente la distribuzione delle diverse innovazioni nel sistema. Per quanto riguarda le innovazioni Home & Microclinic vi è un profilo relativamente equilibrato tra le dimensioni Water (3), Waste (1) e Energy (1) mentre la categoria Transport (6), risulta decisamente dominante. Ciò è coerente con la natura del modello domiciliare, in quanto è proprio questo a ridefinire le modalità di accesso a tutte quelle componenti che vanno a comporre il sistema della dialisi, quali i materiali, i dispositivi medici e il personale sanitario.

Il settore della Dialysis Installation si contraddistingue per una concentrazione sulla dimensione Waste (10) e Water (5). Operational Practices presenta undici innovazioni Waste e una sola per ciascuna delle categorie Energy e Transport mentre la voce Water è completamente assente (0), suggerendo una saturazione delle opportunità di intervento in questo ambito specifico e la necessità di esplorare maggiormente soluzioni che tocchino altri ambiti ambientali, evidenziando, allo stesso tempo, come la riduzione di scarti e rifiuti sia il punto con una probabile maggiore facilità d'intervento.



Confronto del numero di innovazioni presenti nelle diverse categorie dell'Innovation Matrix.

Grafico 1: Distribuzione delle innovazioni nell’Innovation Matrix.

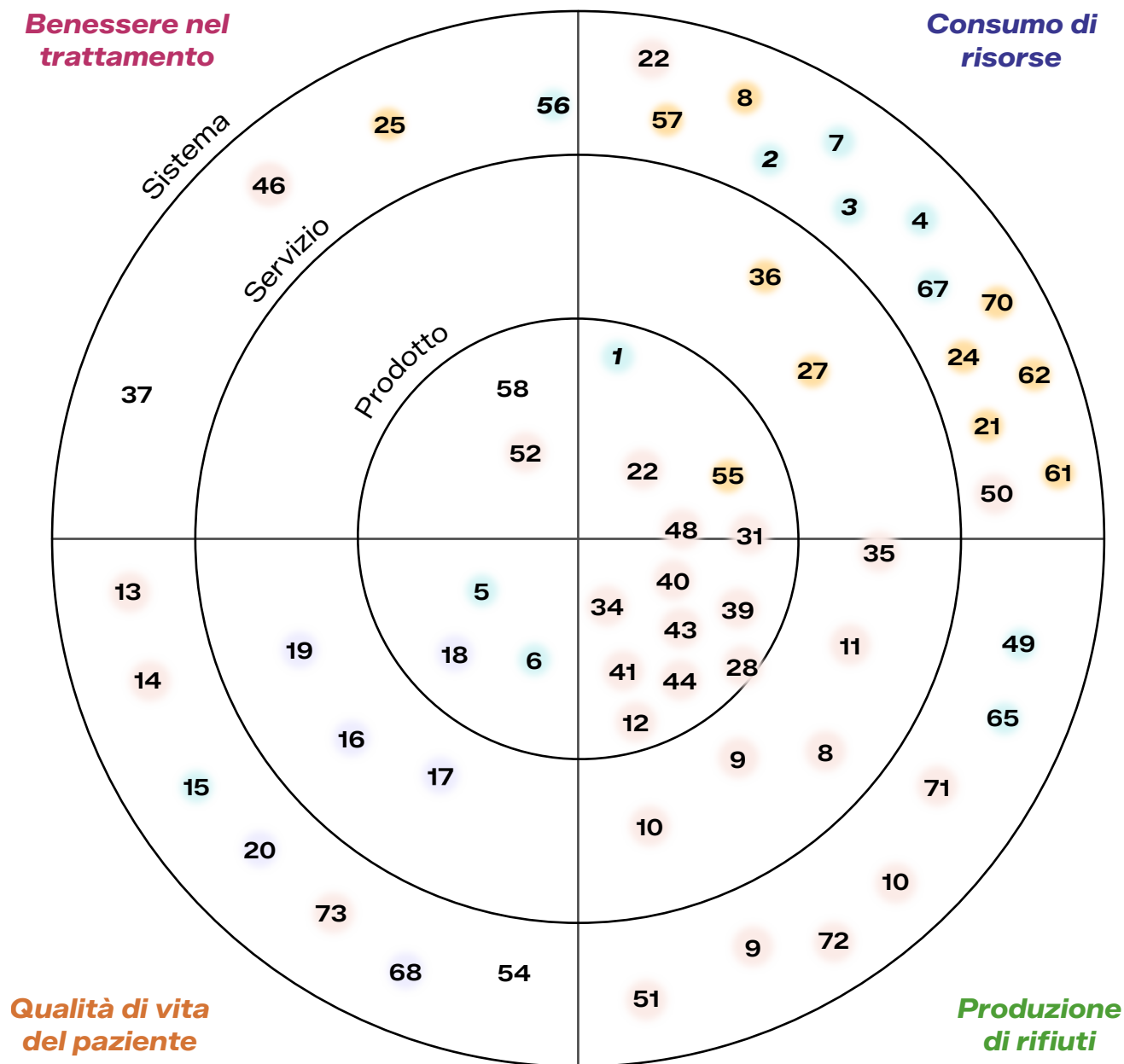


Nella sezione delle innovazioni Building Related si trova il maggior numero complessivo di innovazioni censite, distribuito soprattutto tra Energy (15) e Waste (14), con un contributo marginale di Water (1). Due innovazioni sono classificate nella categoria Altro, in quanto difficilmente attribuibili a un singolo vettore d'impatto, come ad esempio una proposta di sistemi di segnaletica basati su cloud.

L'insieme di questi dati delinea un quadro in cui la gestione dei rifiuti rappresenta la sfida trasversale più rilevante a livello di sistema, presente in modo significativo in tutte e quattro le aree, mentre l'efficienza energetica emerge come priorità strutturale nell'ambito edilizio, e la dimensione idrica rimane prevalentemente confinata all'area tecnica dei macchinari di dialisi.

Il messaggio complessivo che emerge è quello di un settore che dispone di un ampio repertorio di soluzioni tecnicamente mature per ridurre il proprio impatto ambientale, ma che necessita di un framework sistemico per tradurre questo patrimonio latente in cambiamento pratico e misurabile e di maggiore ricerca per quelle soluzioni ancora in fase di sviluppo.⁵¹

4.3 IL POSIZIONAMENTO DELLE INNOVAZIONI PER IMPATTO E Scala D'INTERVENTO



Legenda colori delle categorie d'impatto:



Grafico 2: Distribuzione delle innovazioni nell'Innovation Matrix per categoria d'impatto e scala d'intervento

L'innovation Matrix è stato rielaborato anche con un'altra chiave di lettura, dividendo le innovazioni in quattro categorie: benessere nel trattamento, qualità di vita del paziente, consumo di risorse e produzione di rifiuti. Nel Grafico 3 tutti gli elementi sono suddivisi in questi quattro quadranti con un lato che si concentra di più sulla dimensione del benessere del paziente e dei dipendenti, e l'altra più strettamente ambientale. A questa suddivisione si sovrappongono tre anelli concentrici: sistema, servizio e prodotto, che indicano la scala di intervento di ciascuna innovazione, dal singolo prodotto all'intero sistema di cura.

La distribuzione dei colori associati a ciascun numero è coerente con la legenda già utilizzata nelle tabelle della sezione precedente. Osservando questo grafico è quindi possibile confermare quanto già emerso dall'analisi per area applicativa, con le innovazioni relative ai rifiuti sono le più numerose e si distribuiscono in tutti e quattro i quadranti. Dal Grafico 3 è possibile osservare però come queste si concentrino prevalentemente nell'anello interno che riguarda i prodotti. Questo è dovuto al fatto che molte di queste innovazioni, che sono spesso semplici sostituzioni di materiale di elementi come i sacchetti biodegradabili o dei dispenser anti-spreco.

I punti legati all'energia si concentrano invece prevalentemente nel quadrante di Consumo di risorse e in particolar modo nell'anello Sistema. Gran parte delle soluzioni energetiche individuate riguardano l'efficientamento degli edifici e degli impianti centralizzati per l'emodialisi.

Le innovazioni relative all'acqua sono disposte in maniera più uniforme su tutto il grafico tra gli anelli riguardanti il sistema e servizio, con molte di queste che riguardano il recupero e trattamento idrico che richiedono un intervento più sull'infrastruttura più che sul singolo dispositivo. I punti relativi ai trasporti sono meno presenti numericamente e tendono a posizionarsi nei quadranti a sinistra più legati ai pazienti, poiché è innegabile come la riduzione degli spostamenti sia di grande beneficio per la qualità di vita del paziente. Nel complesso, la rappresentazione radiale evidenzia come l'anello Prodotto risulti più affollato nei quadranti orientati ai rifiuti mentre quelli di Servizio e Innovazione presentano maggiormente le innovazioni riguardanti acqua ed energia.

4.4 IL POSIZIONAMENTO DELLE INNOVAZIONI PER TRL

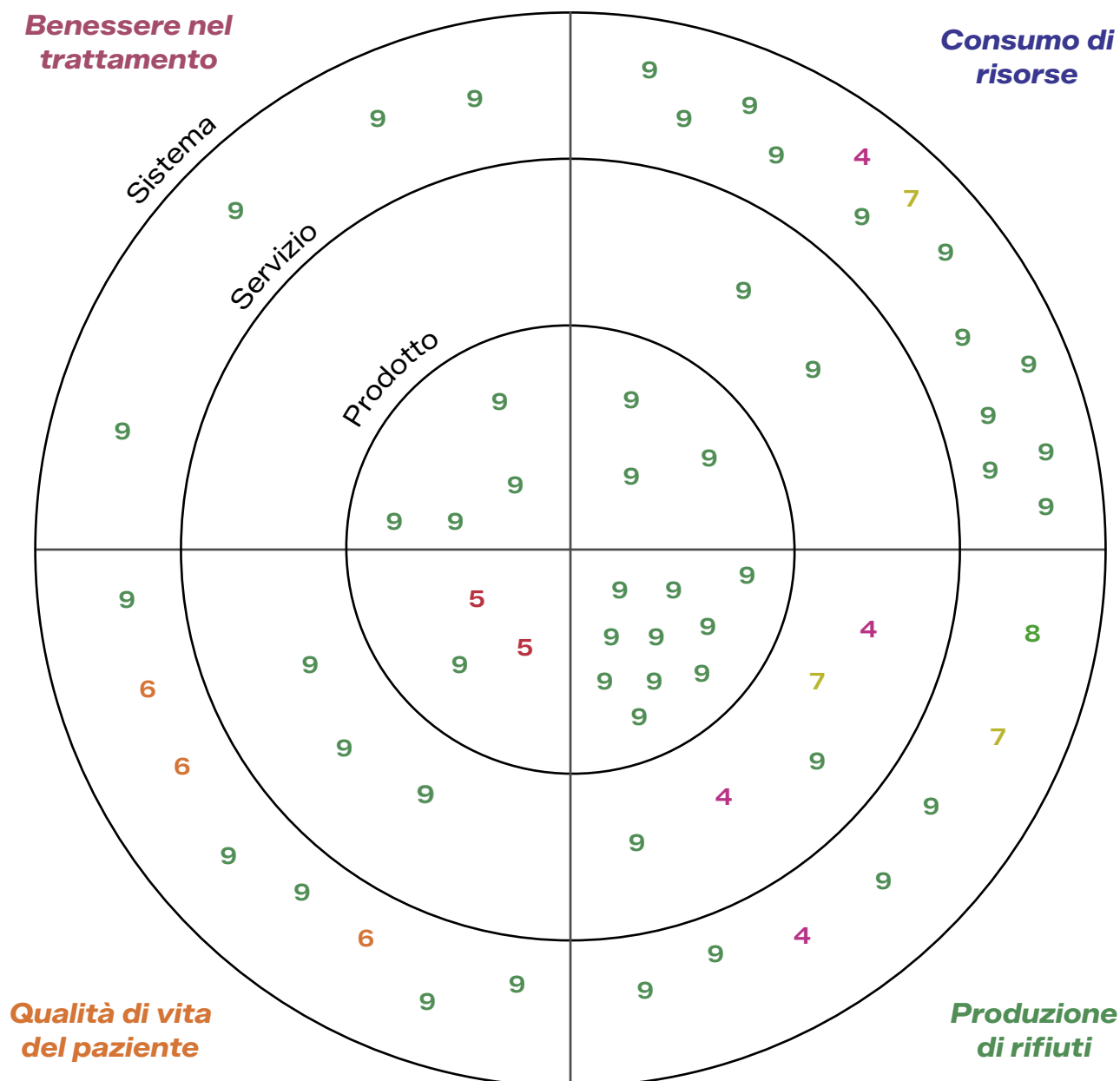


Grafico 3: Distribuzione delle innovazioni nell'Innovation Matrix per TRL.

Il Grafico 3 rappresenta graficamente la distribuzione delle innovazioni, censite secondo il Technology Readiness Level (TRL), una scala ordinale sviluppata originariamente dalla NASA e oggi ampiamente adottata nell'ambito dei programmi di ricerca e innovazione europei per classificare il grado di maturità tecnologica di una soluzione, dal livello 1 (principi di base osservati) al livello 9 (sistema operativo in ambiente reale).

Il grafico rivela come, su 61 innovazioni con TRL noto, ben 48 si collocano al livello TRL 9, con un ulteriore contributo di 3 unità al livello TRL 8. Complessivamente, le innovazioni deployment-ready ammontano a 51 su 61, corrispondenti all'84% del totale. Da ciò si evince come quelle presentate da KitNewCare siano perlopiù soluzioni disponibili e immediatamente applicabili, mentre si identifica un nucleo, minoritario ma significativo, di soluzioni in fase di sviluppo o dimostrazione, che richiedono investimenti ulteriori in ricerca e validazione clinica prima di poter essere candidate all'implementazione su scala. Alcune delle soluzioni più innovative, come la produzione on-line di dialisato peritoneale, si trovano ancora in una fase in cui il proof-of-concept è stato dimostrato ma l'integrazione sistemica non è ancora compiuta, venendo classificate con TRL 6-7.

Da questo grafico emerge come il valore TRL 9 sia distribuito in modo omogeneo in tutti i quadranti e in tutti gli anelli. Questa è una conferma di quanto già osservato nell'analisi generale, ovvero che la maggior parte delle soluzioni raccolte da KitNewCare sono già pronte per l'implementazione su scala reale. Al contrario, i valori più bassi, tra TRL 4 e 5, ma anche quelli con TRL 7, si concentrano di più nel quadrante Consumo di risorse, Produzione di rifiuti e Qualità di vita del paziente. Si trovano, inoltre, principalmente negli anelli Servizio e Sistema piuttosto che in quello di Prodotto. Ciò dimostra come le innovazioni ancora in fase di sviluppo non riguardano tanto i singoli prodotti ma la costruzione di nuovi modelli di servizio o infrastrutture, le cui implicazioni sistemiche richiedono ancora un percorso di validazione lungo prima di poter essere adottate.

4.5 CONCLUSIONI DELL'ANALISI

Dopo queste analisi è necessario fare un punto di questo approfondimento dei dati forniti da KitNewCare, necessario anche ad individuare eventuali gap progettuali rilevanti o altri aspetti significativi.

In primo luogo, la maggior parte delle innovazioni mature si collocano in due aree in particolare: a livello di Servizio, riguardanti principalmente il consumo di risorse e a livello di Prodotto per quanto riguarda quelle nell'ambito della produzione dei rifiuti. Questi ambiti appaiono quindi abbastanza saturi e risultano decisamente più inesplorati gli interventi sul fronte energetico e idrico a livello di singolo dispositivo domiciliare, una dimensione che invece è essenziale proprio per la dialisi peritoneale domestica.

Sono proprio le innovazioni riguardanti quest'ultima quelle meno esplorate, confermando un trend che tende a non approfondire abbastanza le potenzialità delle terapie dialitiche domiciliari, prediligendo l'emodialisi. È chiaro che considerando gli impatti di questa modalità dialitica, come visto nel Capitolo 3, c'è una grande necessità di innovazioni, ma questo non dovrebbe mettere in ombra la CAPD e APD, su cui ci sono grandi margini di miglioramento.

Le proposte che riguardano di più la dialisi peritoneale domestica in questo archivio sono senza dubbio quelle relative ai trasporti, che nonostante non siano particolarmente numerose si rivelano importanti perché riescono ad agire simultaneamente sulla qualità della vita del paziente e sull'impatto ambientale complessivo. In particolare, a livello di Prodotto e Servizio, dove il numero delle proposte in questo ambito rimane limitato, ci sono opportunità per ulteriori soluzioni progettuali.

CAPITOLO 5

Dai gap alle linee guida
progettuali

5.1 GAP PROGETTUALI INDIVIDUATI

Nel corso dei passati capitoli si è affrontato il tema di dialisi su più livelli: storico, tecnico, progettuale e ambientale. Partendo da tutto ciò è necessario anche fare un punto critico della ricerca, individuando i gap progettuali presenti nella banca dati di KitNewCare, presentare casi studio significativi e tradurre tutto ciò che è emerso da questo lavoro di tesi in linee di intervento progettuali orientate al miglioramento dell'esperienza d'uso del paziente e della sostenibilità ambientale della dialisi.

Partendo dal confronto fra i dati dell'impatto ambientale delle modalità dialitiche esposte nel terzo capitolo e le innovazioni esistenti presentate nel quarto nel contesto del programma europeo di Horizon, è possibile identificare una serie di gap progettuali che rappresentano delle opportunità d'intervento per tutti i progettisti che si interfacciano a questo ambito.

Ambito Tematico: Consumo di Risorse

1. Servizi per la riduzione del consumo di risorse

L'attuale offerta di servizi non prevede soluzioni strutturate per la gestione dei prodotti e del consumo di risorse anche nelle tipologie di dialisi di tipo domestico. Dalla pianificazione intelligente delle forniture alla tracciabilità dei materiali e alla riduzione degli sprechi o a errori procedurali. Anche il trasporto è un elemento che necessiterebbe di maggior approfondimento, dato che il trasporto di tonnellate di fluidi sterili dal produttore al domicilio del paziente genera 1.055 kg CO₂-eq annui. La mancanza di una produzione localizzata o di una razionalizzazione dei carichi di spedizione costituisce un forte limite infrastrutturale. Alla base del sistema della dialisi peritoneale domiciliare c'è una spedizione mensile di massicce forniture di dialisato preconfezionato direttamente al domicilio del paziente. Prendendo in considerazione i consumi di dialisato e l'impatto ambientale di questi trasporti, moltiplicandolo per il numero di pazienti in trattamento e la frequenza delle consegne, è evidente l'impatto ambientale generato dall'intero sistema, come già esplicito nel corso del quarto capitolo.

Ambito Tematico: Produzione di rifiuti

2. Packaging sostenibile

Il PVC e le poliolefine dei sacchetti costituiscono fino al 56% dei rifiuti totali del paziente in PD. Ad oggi, la quasi totalità dei consumabili segue un modello lineare cradle-to-grave, mancando soluzioni basate su biopolimeri compostabili industrialmente o riutilizzabili. A ciò si aggiunge la difficoltà da parte dei pazienti in dialisi di gestire e smaltire correttamente tali quantità di packaging e materiale di rifiuto. Quello del packaging è quindi un ambito progettuale ad alto potenziale e d'urgente necessità di innovazioni, in grado di coniugare responsabilità ambientale e esperienza domestica del paziente.

Ambito Tematico: Benessere nel trattamento

3. Scarsa innovazione per la dialisi domestica

Il gap più evidente è proprio quello relativo alla scarsità di innovazioni che riguardano la dialisi domestica. Su quasi 70 proposte solo una decina si dedicano di fatto alla dialisi peritoneale e all'emodialisi domestica. Dalle analisi dell'Innovation Matrix, le soluzioni presenti nell'area Home & Microclinic si concentrano prevalentemente sui trasporti e sulla logistica, con pochissime proposte che agiscano direttamente sui dispositivi impiegati dal paziente in casa quotidianamente. Questo gap è particolarmente rilevante poiché la dialisi peritoneale si svolge a casa del paziente quotidianamente e intervenire a livello di prodotto in questo contesto significa intervenire direttamente sull'esperienza vissuta dal paziente, e quindi sulla sua qualità di vita.

Ambito tematic: Servizi per il benessere nel trattamento

4. Scarsa innovazione per la dialisi domestica

Ogni seduta dialitica rappresenta un momento di vulnerabilità fisica e psicologica: nel caso della dialisi domestica il paziente è spesso in solitudine connesso al dispositivo per ore ogni giorno, con poco margine di distrazione e movimento, e ciò impone al paziente una routine quotidiana strutturata e ripetitiva. C'è la necessità di prevedere dei servizi che possano accompagnare il paziente durante la seduta, favorendo il rilassamento e la percezione di controllo sulla propria malattia, che impatta inevitabilmente ogni aspetto della vita privata. I dispositivi e le procedure sono stati progettati solamente con un focus clinico-funzionale in mente, relegando in secondo piano la dimensione

dell'esperienza d'uso e curare questo aspetto significa alleggerire l'esperienza di malattia.

5. Prodotto per il benessere nel trattamento

Questo gap è complementare a quello precedente, ma va a incidere sui prodotti fisici pensati per migliorare il benessere del paziente e di tutte le figure professionali coinvolte nel trattamento. Lavorare sul prodotto significa rivedere le interfacce fisiche tradizionali che impongono sequenze di accordi complessi, con cicli di addestramento clinico estenuanti e inducendo il timore costante di infezioni peritoneali da contatto.

Ambito Tematico: Qualità di vita del paziente

6. Innovazioni per l'esperienza d'uso e la qualità di vita del paziente

I dispositivi e le procedure sono stati progettati solamente con un focus clinico-funzionale in mente, relegando in secondo piano la dimensione dell'esperienza d'uso. Curare questo aspetto significa alleggerire l'esperienza di malattia che accompagna i pazienti in dialisi spesso per tutta la durata della loro vita, e ridurre il rischio di errori procedurali da parte dei pazienti, che possono favorire l'insorgenza di infezioni.

7. Integrazione digitale

Il livello attuale di integrazione digitale fra i vari attori del sistema dialitico è insufficiente. Nonostante in KitNewCare ci siano un paio proposte innovative in questo ambito, nessuna di queste tipologie di digitalizzazione riguarda il paziente o la sua user experience. Strumenti digitali intuitivi potrebbero alleggerire il carico cognitivo e organizzativo associato alla dialisi peritoneale domiciliare, supportando il paziente nella gestione della terapia attraverso promemoria personalizzati, guide interattive alle procedure, monitoraggio dei trattamenti, registrazione automatica dei dati clinici e comunicazione diretta con il personale sanitario.

Categoria d'impatto	Gap progettuale individuato	
Consumo di risorse	Servizi per la riduzione del consumo di risorse	1
Produzione di rifiuti	Packaging sostenibile	2
Qualità di vita del paziente	Innovazioni per l'esperienza d'uso e la qualità di vita del paziente	3
	Integrazione digitale	4
Benessere nel trattamento	Scarsa innovazione per la dialisi domestica	5
	Servizi per il benessere nel trattamento	6
	Prodotto per il benessere nel trattamento	7

Gap progettuali individuati e le diverse categorie di impatto.

5.3 I CASI STUDIO

A partire dai gap progettuali individuati nel paragrafo precedente, è stata condotta una ricerca mirata di casi studio ed esempi concreti in grado di rispondere, anche solo parzialmente, alle criticità emerse. La selezione, riportata integralmente nell'Allegato 2, comprende soluzioni già implementate a livello industriale, prototipi in fase di sviluppo e progetti veri e propri, scelti in quanto rappresentativi delle diverse categorie d'impatto individuate: qualità di vita del paziente, benessere nel trattamento produzione di rifiuti e consumo di risorse. Questi esempi offrono un riferimento concreto per comprendere in che modo il design possa tradurre le criticità identificate in soluzioni tangibili, fungendo da base per l'elaborazione delle linee di intervento progettuale presentate nel paragrafo successivo. Per facilitarne la consultazione, la tabella presentata di seguito riassume i casi studio raccolti, indicandone la fonte e la categoria d'impatto di riferimento.

Casi studio	Riferimento	Categorie d'impatto
Organizzazione della casa e del proprio spazio di cura	doi: 10.34067/ KID.0000000000000377 doi: 10.3390/jcm13020411	Benessere nel trattamento
Co-design con SONG-PD: workshop per ridefinire gli outcome clinici	doi:10.1053/j.ajkd.2019.09.017 https://songinitiative.org/projects/song-pd/	
Dialysis Optimal Health Program, percorso di supporto psicologico	doi:10.1186/s13063-016-1558-z	
The Baxter Travel Club, sistema di logistica globale per la consegna di dialisato	https://ca.mykidneyjourney.com/live-well/traveling-dialysis/travel-club	
Archimedes: redesign del cyclor con una nuova configurazione verticale	https://www.simergent.com/archimedes	
Riduzione del disturbo acustico dei cyclor con Sleep•safe harmony	doi:10.33940/med/2023.3.1	
Gamification dell'Apprendimento nella Dialisi Peritoneale	https://glasgowcityofscienceandinnovation.com/glasgow-clinicians-lockdown-gaming-inspires-virtual-reality-dialysis-support/	
Stay•safe CAPD System di Fresenius Medical Care per la riduzione dei tassi di infezione	https://freseniusmedicalcare.com/en-us/products/home-dialysis-equipment/stay-safe-overview/	Qualità di vita del paziente
Touchless connector system	doi:10.1136/bmjinnov-2021-000845	
Design d'interfaccia e i Serious Game	doi:10.1177/08968608221080586	
Il progetto WEAKID: verso la dialisi indossabile	https://www.projectcordial.eu/	Consumo di risorse
FMC Mircera Take-Back Program	https://freseniusmedicalcare.com/en-us/insights/articles/mircera-take-back-program/	Produzione di rifiuti

Tabella dei casi studio analizzati con fonti e relative categorie di impatto.

5.4 LINEE DI INTERVENTO PROGETTUALE

Dopo aver individuato i gap progettuali presenti nell'archivio di KitNewCare, è necessario elaborare una serie di linee di intervento progettuale che consentano non solo di ampliare il patrimonio di innovazioni raccolte nell'Innovation Matrix di KitNewCare, ma anche di fornire ai progettisti che operano in ambito sanitario strumenti e riferimenti utili per sviluppare soluzioni più efficaci e consapevoli.

Le indicazioni proposte intendono evidenziare gli aspetti ai quali i designer dovrebbero prestare maggiore attenzione nella progettazione per il contesto della dialisi. Oltre a considerare gli aspetti ambientali e clinici, è fondamentale adottare un approccio progettuale centrato sulla persona, riconoscendo il paziente come soggetto attivo all'interno del percorso di cura. Questo porta ad evitare soluzioni imposte dall'alto, preservando la dignità della persona con processi progettuali partecipativi che favoriscano l'autonomia dei pazienti e che contribuiscano al miglioramento della loro qualità di vita. Ciascuna linea di intervento è supportata dai casi studio presentati nell'Allegato 2, selezionati in quanto rappresentano esempi significativi di risposta ai gap progettuali individuati. Per comodità tutti questi casi studio sono stati riassunti nella Tabella 7.

1. Migliorare l'ergonomia e l'usabilità dei dispositivi e dei kit di consumabili

Gap di riferimento: Scarsa innovazione per la dialisi domestica (Gap 5); Prodotto per il benessere nel trattamento (Gap 7)

La permanenza di un paziente nella terapia dialitica domiciliare è direttamente correlata alla qualità dell'interazione che questo ha con l'intero sistema prodotto della terapia. I pazienti danno infatti una grandissima importanza alla gestione della vita e della logistica domestica.

I cyclers per l'APD rappresentano il caso più emblematico per questa linea guida. I modelli attualmente più diffusi derivano dall'evoluzione delle prime macchine Baxter degli anni Ottanta, configurate come unità orizzontali da tavolo che occupano un'ampia superficie della camera da letto del paziente, costringendolo a restare fermo per tutta la durata del trattamento notturno. Uno studio di conjoint analysis commissionato su 42 pazienti in dialisi peritoneale, 24 pazienti non in dialisi peritoneale e 52 infermieri specializzati ha valutato le preferenze rispetto al cycler verticale Archimedes sviluppato da Simergent: il 90% degli intervistati ha espresso preferenza per la configurazione verticale rispetto ai modelli tradizionali da tavolo, apprezzando il minore ingombro a pavimento, la maggiore mobilità interna, la riduzione dei tempi di set-up e, grazie al flusso assistito dalla gravità con le sacche sospese nella parte superiore dell'asta, una significativa riduzione del rumore complessivo dell'operazione.⁵² Un altro aspetto su cui vale la pena intervenire riguarda i kit di consumabili per la CAPD.: l'attuale organizzazione di questi kit richiede al paziente una serie di azioni manuali ripetute tre o quattro volte al giorno che portano a stanchezza procedurale, soprattutto nei soggetti anziani o con limitazioni motorie. Uno studio condotto all'Ospedale San Bortolo di Vicenza su pazienti in dialisi peritoneale ha evidenziato come le visite domiciliari infermieristiche mirate a rivedere la tecnica procedurale e a verificare la corretta gestione dei consumabili migliorino significativamente l'aderenza alla terapia. L'intervento progettuale deve agire per semplificare tutte le fasi della terapia e le sue sequenze operative, riducendo il numero di componenti da manipolare e ottimizzando degli spazi di stoccaggio domestico. Fresenius Kidney Care e NxStage Medical hanno sviluppato delle linee guida per i pazienti che gli permettano di massimizzare l'efficienza spaziale dei materiali domiciliari, suggerendo ad esempio l'impiego di cassettiere in plastica trasparente dotate di ruote per l'organizzazione dei piccoli dispositivi: soluzioni apparentemente banali che, nella pratica quotidiana, incidono direttamente sulla percezione della qualità di vita del paziente.^{53 54}

2. Sviluppare servizi dedicati alla mobilità e all'inclusione sociale

Gap di riferimento: Servizi per la qualità di vita del paziente (Gap 3)

La terapia dialitica comporta spesso un marcato isolamento sociale, che può incidere sulla salute mentale dei pazienti. A ciò contribuiscono le difficoltà negli spostamenti e alle difficoltà che molti pazienti incontrano nel conciliare gli impegni della terapia con la partecipazione alla vita sociale. Questo isolamento ha conseguenze cliniche: la solitudine cronica è un fattore di rischio per la depressione e il declino cognitivo.

Come osservato nell'Allegato 2, il servizio Baxter Travel Club cerca di ovviare a questo problema offrendo un sistema logistico globale che garantisce la consegna programmata di dialisato e dispositivi di consumo in oltre 60 paesi del mondo. In modo analogo, Vantive, ex divisione renale di Baxter, offre attraverso la piattaforma Sharesource un sistema di remote patient management che riduce la necessità di accessi ambulatoriali non programmati, aumentando la libertà di spostamento del paziente. 55 56

Nonostante questi esempi, la dimensione della mobilità rimane una delle meno esplorate nell'Innovation Matrix di KitNewCare: solo sei innovazioni rientrano nella categoria Transport per l'area Home & Microclinic, e quasi tutte riguardano la logistica delle forniture, non la mobilità del paziente. Un design dei servizi orientato all'inclusione dovrebbe invece includere: interfacce di prenotazione delle forniture per destinazione di viaggio, integrate nei sistemi di telemedicina già esistenti, protocolli standardizzati di supporto infermieristico da remoto per i periodi trascorsi lontano da casa e partnership con strutture ricettive attrezzate per ospitare pazienti in dialisi peritoneale.

3. Integrare il supporto psicologico come componente strutturale del servizio PD

Gap di riferimento: Servizi per la qualità di vita del paziente (Gap 3); Servizi per il benessere nel trattamento (Gap 6); Integrazione digitale (Gap 4)

L'avvio della terapia dialitica è un momento di profonda destabilizzazione psicologica. E' molto più elevata la prevalenza di depressione e ansia nei pazienti dializzati rispetto al resto della popolazione, e questi disturbi chiaramente interferiscono con l'aderenza al trattamento e con la qualità di vita complessiva. Una ricerca condotta su 15 studi per un totale di 929 pazienti

in emodialisi ha dimostrato che gli interventi psicologici producono miglioramenti significativi della depressione e dell'ansia con effetti positivi sia sul benessere psicologico sia sulla salute fisica dei pazienti.⁵⁷

Un altro studio specificamente dedicato ai pazienti in dialisi peritoneale ha inoltre dimostrato che il rapporto tra il carico sintomatologico e la qualità di vita è molto stretto: i pazienti con un peso sintomatico elevato presentano una qualità di vita peggiore, evidenziando l'importanza di integrare lo screening psicologico di routine e gli interventi psicologici nei percorsi di cura della PD.

58

Il programma DOHP (Dialysis Optimal Health Program) analizzato nell'Allegato 2 è il caso studio che meglio risponde a questa necessità: un percorso di supporto psicologico della durata di nove settimane, che ha dimostrato su 96 pazienti in uno studio controllato randomizzato di migliorare il benessere e ridurre il tasso di abbandono della terapia domiciliare.

La letteratura più recente offre evidenze sull'efficacia degli interventi di salute mentale digitali per i pazienti dializzati, che non andrebbero a sostituire i programmi strutturati in presenza ma potrebbero renderli più accessibili, riducendo le difficoltà legate agli spostamenti e ai vincoli imposti dalla terapia. Una revisione sistematica pubblicata nel 2025 ha verificato l'efficacia di interventi basati sulla mindfulness erogati per via tecnologica rispetto alle sedute in persona con il terapeuta. Questo studio suggerisce che le piattaforme digitali integrate nel percorso di cura della dialisi domiciliare possono fungere da vettori efficaci di supporto psicologico, abbattendo le barriere logistiche e riducendo lo stigma associato alla richiesta di aiuto.⁵⁹

4. Progettare sistemi di allarme orientati al benessere del paziente

Gap di riferimento: Servizi per il benessere nel trattamento (Gap 6); Prodotto per il benessere nel trattamento (Gap 7)

Il disturbo del sonno è uno dei sintomi più invalidanti riportati dai pazienti in dialisi peritoneale automatizzata. Sebbene la letteratura presenti risultati non del tutto uniformi, come è stato esposto nel corso del secondo capitolo, vi è consenso crescente sul fatto che il rumore prodotto dai cyclers notturni, e in particolare dagli allarmi acustici, rappresenti un fattore di disturbo rilevante. Nel contesto domestico della dialisi peritoneale notturna il paziente, che spesso è anziano e con sonno delicato, viene svegliato da allarmi acustici del cycler che non sempre segnalano cose urgenti e richiedono un intervento

immediato, con conseguenze sulla qualità del sonno e sull'umore.

Una delle risposte progettuali a questo gap è illustrata nell'Allegato 2,: l'accoppiamento Bluetooth tra il cyclor sleep·safe harmony e il bracciale Corsano Cardio Watch per la sostituzione degli allarmi acustici con stimoli aptici tattili, in caso di anomalie che non sono critiche. Nella fase di progettazione è infatti necessario rispettare i principi di progettazione degli allarmi analizzati da Pruitt et al. (2023). Questi autori, esaminando 356 linee guida industriali, hanno identificato 327 raccomandazioni direttamente applicabili al contesto sanitario, strutturate attorno a nove domini: riduzione degli allarmi, appropriatezza, dipendenza dal contesto, caratteristiche del design, prioritarizzazione, urgenza, e controllo dell'utente.

E' importante prevedere la possibilità di personalizzare i parametri di allarme da parte dell'utente con la stratificazione degli allarmi per criticità: le anomalie non critiche non devono produrre segnali acustici intrusivi. Anche la multimodalità degli stimoli è di grande importanza poiché è necessario affiancare o sostituire gli stimoli visivi e acustici, con vibrazioni progressive. Il sound redesign del cyclor per APD non è un dettaglio di comfort ma una componente progettuale che incide sulla qualità del sonno e sulla salute psicologica.⁶⁰

5. Coinvolgere i pazienti come co-progettisti di dispositivi e servizi

Gap di riferimento: Trasversale a tutti i gap

Lo sviluppo di tecnologie e servizi sanitari deve essere portato avanti solo tenendo conto dell'esperienza vissuta in prima persona da pazienti e assistenti familiari, implementando laboratori di co-design strutturati. L'approccio Human-Centred Design (HCD), costituisce il riferimento metodologico imprescindibile per qualsiasi intervento progettuale su dispositivi medici domestici: esso impone che la progettazione avvenga iterativamente con gli utenti reali, incorporando le loro esigenze fisiche, cognitive ed emotive accompagnando tutte le fasi dello sviluppo: dal concept all'implementazione su scala.⁶¹

Senza la testimonianza e gli input che può dare chi vive quotidianamente la terapia, infatti, le soluzioni progettuali rischiano di rispondere a bisogni presunti piuttosto che reali, riproducendo la stessa logica top-down che ha storicamente caratterizzato la progettazione dei dispositivi medici. L'iniziativa SONG-PD, analizzata nell'Allegato 2, è un ottimo esempio di come da

esperienze di co-design possano emergere aspetti della terapia e della vita del paziente spesso ignorati. Questo workshop internazionale svoltosi a Vancouver nel 2018, ha riunito 19 pazienti e caregiver con 51 professionisti della salute per ridefinire gli outcome clinici dei trial sulla dialisi peritoneale a partire dalle priorità dei pazienti, producendo una struttura a tre livelli. Il risultato ha mostrato che le priorità dei pazienti sono spesso significativamente differenti rispetto a quelle tradizionalmente misurate dalla ricerca clinica, che invece enfatizza quasi esclusivamente gli aspetti clinici della terapia..⁶²

6. Costruire infrastrutture per la raccolta e il riciclo dei materiali di consumo

Gap di riferimento: Packaging sostenibile (Gap 2); Servizi per la riduzione del consumo di risorse (Gap 1)

Nonostante la dialisi peritoneale abbia un impatto ambientale tendenzialmente minore rispetto alle altre tipologie di dialisi, genera un impatto importante soprattutto per la grande quantità di rifiuti plastici e di imballaggi che derivano da questo trattamento. Per questo il design del servizio deve strutturare reti di logistica di ritorno e sistemi closed-loop.

Oltre a intervenire sulla progettazione di packaging più sostenibili e facilmente riciclabili, è infatti possibile sviluppare sistemi di logistica inversa (reverse logistics) che consentano il ritiro dei materiali direttamente presso il domicilio del paziente, integrandolo con le normali attività di consegna delle forniture. Parallelamente, si dovrebbero adottare dei modelli di economia circolare basati su sistemi closed-loop che permetterebbero di reintrodurre nel ciclo produttivo materiali e componenti opportunamente trattati, contribuendo alla riduzione del consumo di materie prime vergini e della produzione complessiva di rifiuti.

7. Progettare packaging sostenibili secondo i principi dell'economia circolare

Gap di riferimento: Packaging sostenibile (Gap 2); Servizi per la riduzione del consumo di risorse (Gap 1)

Come evidenziato nel terzo capitolo, circa l'80% dell'impronta di carbonio della dialisi peritoneale è attribuibile ai materiali di imballaggio e il PVC

costituisce circa il 56% dei rifiuti totali di un paziente in dialisi peritoneale.

Il progetto europeo KitNewCare censisce polimeri biodegradabili come innovazione potenzialmente applicabile, ma senza sviluppare sufficientemente le implicazioni sistemiche di questa direzione. Si dovrebbero dare maggiore attenzione ai materiali e prevedere la sostituzione degli imballaggi multistrato con soluzioni monomateriali che facilitano la riciclabilità a valle. Anche i sistemi di recupero nel loro complesso sono da prendere in considerazione: il programma FMC Mircera Take-Back di Fresenius Medical Care (Allegato 2, caso studio 10) sostituisce i contenitori monouso con shipper isotermici rigidi e riutilizzabili che vengono recuperati dopo ogni consegna, sanificati e reimmessi in circolazione. L'estensione di questo modello alle sacche di dialisato è il passo logicamente successivo, anche se richiede di risolvere problemi di sterilità e tracciabilità più complessi di quelli degli shipper farmaceutici.

Un'altra linea progettuale già parzialmente implementata dal sistema Baxter Amia e dal progetto WEAKID (Allegato 2, casi studio 11 e 12), è la dematerializzazione del dialisato: produrre la soluzione sterile on-site elimina la necessità di far viaggiare camion carichi di sacche preriempite, riducendo drasticamente le emissioni legate al trasporto e il volume complessivo degli imballaggi generati.

8. Progettare per prevenire e mitigare gli errori d'uso

Gap di riferimento: Scarsa innovazione per la dialisi domestica (Gap 5); Qualità di vita del paziente (Gap 3)

La complessità procedurale della dialisi peritoneale rappresenta una fonte di costante ansia e rischio di infezioni per i pazienti. Deve essere fatta una prevenzione degli errori d'uso, integrandola nella progettazione stessa dei prodotti. Studi sulla pratica clinica reale mostrano che solo il 16,5% dei pazienti esegue correttamente la procedura di dialisi peritoneale a casa, in conformità con quanto appreso durante la formazione e in molti casi, i pazienti non si rendono nemmeno conto di commettere errori procedurali fino al momento in cui l'infermiere di riferimento li rileva durante una visita domiciliare.⁶³ Il dato più significativo che emerge dalla letteratura è che la contaminazione da contatto durante le manovre manuali di connessione e disconnessione tra il catetere e le sacche di dialisato è la principale causa di peritonite in CAPD, e che fino al 65-75% dei campioni analizzati in condizioni di laboratorio simulanti la pratica domestica mostra crescita batterica. La risposta progettuale non può essere affidata esclusivamente alla formazione del paziente: deve essere incorporata nell'architettura fisica del dispositivo

stesso, riducendo strutturalmente il margine di errore indipendentemente dal comportamento umano. Due casi studio dell'Allegato 2 mostrano questa direzione con chiarezza. Il connettore stay-safe DISC e PIN di Fresenius Medical Care guida il paziente attraverso le quattro fasi dello scambio mediante un semplice selettore centrale, riducendo del 50% il numero di aperture esposte del circuito rispetto ai sistemi di connessione tradizionali. Il connettore touchless sviluppato dal Bakken Medical Devices Center crea invece una camera isolata che permette il collegamento dei tubi in modo completamente privo di contatto con le parti sterili, azzerando la crescita batterica in 56 test di connessione.⁶⁴

Il principio progettuale che emerge da questi casi è coerente con quanto affermato dall'ISPD (International Society for Peritoneal Dialysis) nelle sue linee guida 2022 aggiornate: la riduzione della peritonite passa attraverso la semplificazione e la standardizzazione delle procedure di connessione, con sistemi che riducano al minimo i passaggi manuali aperti.

9. Integrare tecnologie immersive e strategie di gamification nei percorsi di addestramento

Gap di riferimento: Integrazione digitale (Gap 8); Esperienza d'uso e qualità di vita (Gap 3)

Insegnare a persone che non sono del personale sanitario dei protocolli complessi richiede delle strategie pedagogiche innovative. Una di queste è sicuramente l'impiego di piattaforme di addestramento in realtà virtuale, ma devono essere prese in considerazione anche strategie di gamification che permettono di alleggerire una quotidianità molto ripetitiva e pesante per i pazienti. I metodi di addestramento tradizionali hanno dimostrato efficacia nella riduzione della peritonite, ma non sono scalabili e non possono compensare il naturale deterioramento delle competenze nel tempo. Uno studio controllato randomizzato dell'ISPD ha evidenziato che pazienti sottoposti a riaddestramento frequente (visite ogni 1-3 mesi per due anni) mostrano tassi significativamente più bassi di infezioni rispetto a quelli con riaddestramento convenzionale. Il problema è che questo riaddestramento frequente richiede risorse infermieristiche che la maggior parte dei sistemi sanitari non riesce a sostenere su scala.⁶⁵

Le tecnologie di gamification e realtà virtuale si propongono come soluzione scalabile a questo problema. Una revisione sistematica del 2025 ha analizzato l'efficacia degli interventi gamificati in pazienti con malattia cronica, evidenziando come incorporando feedback, goal-setting, rinforzo positivo e

interazione sociale si migliori significativamente il benessere percepito all'interno della terapia da parte del paziente. In ambito specificamente nefrologico, una revisione sistematica del 2025 sulle app mobili per l'aderenza farmacologica nei pazienti di malattia renale cronica ha identificato applicazioni, tra cui My Dialysis e iCKD, che integrano gamification, promemoria e componenti educativi con risultati promettenti sull'umore e aderenza alla terapia dei pazienti.^{59 66}

Il caso studio presentato nell'Allegato 2 (il sistema stay-safe MyTraining VR di Fresenius Medical Care) offre un'esperienza immersiva 3D con una infermiera virtuale che guida il paziente attraverso la procedura. Altrettanto rilevante è il caso dell'"Onboarding Dialisi" sviluppato dal Consorzio Sanitario Alt Penedès-Garraf con GooApps, che traduce l'apprendimento delle linee guida dietetiche e cliniche in un videogioco con avatar personalizzato. Guardando ai gap ancora aperti nell'Innovation Matrix di KitNewCare, si nota come queste soluzioni siano assenti dall'archivio, segnalando uno spazio progettuale non ancora presidiato a livello europeo. Oltre alla realtà virtuale, altre direzioni meritano esplorazione: la realtà aumentata applicata alle procedure di connessione, che potrebbe sovrapporre indicazioni visive interattive al campo visivo del paziente durante la manovra o i sistemi di microlearning mobile, che distribuiscono il contenuto formativo in sessioni brevi e frequenti anziché in training intensivi iniziali, allineandosi ai pattern di apprendimento dei soggetti anziani.

10. Progettare per il caregiver: ridurre il burden assistenziale invisibile

Gap di riferimento: Qualità di vita del paziente (Gap 3), Servizi per il benessere nel trattamento (Gap 6)

Uno dei gap più importanti nell'intero panorama dell'Innovation Matrix è l'assenza quasi totale di innovazioni pensate per i caregiver, familiari o partner, che assistono il paziente in dialisi peritoneale domiciliare. Questo gap riflette una lacuna sistemica più ampia: il burden del caregiver è raramente quantificato nelle analisi delle terapie dialitiche. Eppure i dati disponibili sono eloquenti: il 22,4% dei drop-out dalla dialisi peritoneale è direttamente attribuibile all'impossibilità di proseguirla a causa di mancanza di un caregiver o di sopraggiunta inabilità del paziente. Ogni abbandono della terapia domiciliare genera un impatto sanitario con costi economici e ambientali nettamente superiori. La progettazione di supporti per il caregiver non è quindi solo un atto di cura verso chi si prende cura: è una strategia di sistema per la sostenibilità della terapia domiciliare.⁷

Le direzioni progettuali da esplorare includono: guide operative semplificate e multilingue per i caregiver, differenziate per livello di coinvolgimento richiesto (sostituzione completa del paziente oppure assistenza parziale) o anche avere delle piattaforme di coordinamento familiare integrate con il sistema di telemedicina, che permettano a più familiari di monitorare lo stato del trattamento e di ricevere notifiche. Queste potrebbero essere una direzioni progettuali che varrebbe la pena portare avanti nell'ambito del benessere del trattamento.

11. Sviluppare soluzioni digitali a supporto dell'esperienza del paziente

Gap di riferimento: Integrazione digitale (Gap 4)

L'Innovation Matrix di KitNewCare censisce alcune proposte di integrazione digitale, ma, come evidenziato nel quinto capitolo, nessuna di esse riguarda direttamente il paziente o la sua user experience. Le piattaforme di telemedicina esistenti, come quella descritta nel caso dello studio dell'Ospedale Papardo di Messina hanno dimostrato efficacia clinica e riduzione dei costi, ma sono state progettate principalmente per facilitare il monitoraggio da parte del team nefrologico, non per arricchire l'esperienza del paziente.

Uno studio condotto su pazienti in dialisi domiciliare in Finlandia, pubblicato su JMIR Human Factors nel 2024, ha valutato la soluzione eHealth eC4Me, una piattaforma digitale che integra documentazione della terapia, monitoraggio dei parametri clinici, ordinazione dei materiali e comunicazione con il team di cura. I risultati riportati evidenziano problemi ricorrenti di usabilità legati all'accesso e al login, alla complessità delle interfacce e alla scarsa adattabilità alle esigenze degli utenti con poca esperienza tecnologica. La valutazione basata sull'utente è quindi una componente necessaria, non opzionale, di qualsiasi processo di sviluppo di soluzioni eHealth per pazienti cronici, poiché è necessario assicurarsi dell'effettiva funzionalità di queste piattaforme da parte del paziente.

Sul fronte delle interfacce dei cyclers, Smith et al. (2024), citati nell'Allegato 2, propongono lo sviluppo di applicazioni per schermo integrato con guide digitali interattive animate, codici cromatici funzionali (rosso per le zone sterili da non toccare, verde per quelle sicure) e animazioni del flusso all'interno dei tubi. Questa proposta affronta il problema strutturale identificato da Dennis Lenard (esperto di MedTech UX): le interfacce grafiche dei cyclers sono state storicamente progettate seguendo la "logica dei moduli

software" degli ingegneri, anziché la sequenza logica dei compiti clinici realmente eseguiti da infermieri e pazienti.²⁸

La linea progettuale da perseguire è quella di un'integrazione digitale che ponga il paziente al centro del sistema. Questo significa: interfacce calibrate sull'utente reale (spesso anziano, con ridotta alfabetizzazione digitale e possibili deficit visivi o motori); feedback comprensibili e non ansiogeni in risposta agli eventi del trattamento; dashboards personalizzabili che permettano al paziente di scegliere quali informazioni monitorare e con quale frequenza; e integrazione con i sistemi di supporto psicologico e di gamification descritti nelle linee guida precedenti, per costruire un ecosistema digitale coerente anziché una costellazione di app non comunicanti.

Per facilitare la consultazione delle linee guida, la tabella seguente riassume i casi studio raccolti, indicando il gap progettuale a cui ciascuno risponde, e rimandando ai rispettivi numeri identificativi già riportati nella tabella della sezione 5.1.

Linee guida progettuali	Gap progettuale di riferimento
Migliorare l'ergonomia e l'usabilità dei dispositivi e dei kit di consumabili	5 - 7
Sviluppare servizi dedicati alla mobilità e all'inclusione sociale	3
Integrare il supporto psicologico come componente strutturale del servizio PD	3 - 6
Progettare sistemi di allarme orientati al benessere del paziente	6 - 7
Coinvolgere i pazienti come co-progettisti di dispositivi e servizi	Trasversale a tutti i gap
Costruire infrastrutture per la raccolta e il riciclo dei materiali di consumo	1 - 2
Progettare packaging sostenibili secondo i principi dell'economia circolare	1 - 2
Progettare per prevenire e mitigare gli errori d'uso	3 - 5
Integrare tecnologie immersive e strategie di gamification nei percorsi di addestramento	3 - 4
Progettare per il caregiver: ridurre il burden assistenziale invisibile	6
Sviluppare soluzioni digitali a supporto dell'esperienza del paziente	4

CONCLUSIONI

La domanda di ricerca che ha orientato l'intero lavoro chiedeva in che modo l'innovazione progettuale potesse contribuire contemporaneamente a ridurre l'impatto ambientale della dialisi peritoneale domiciliare e a migliorare l'esperienza d'uso e la qualità della vita del paziente. L'analisi comparativa condotta nel terzo capitolo ha prodotto un esito chiaro: tra le modalità dialitiche prese in esame la dialisi peritoneale domiciliare è fra le scelte con il minor impatto ambientale complessivo. I dati lo dimostrano, con un consumo di 1.500 litri d'acqua a settimana contro i 42 della CAPD, un fabbisogno energetico di 105 kWh settimanali contro i 5 della CAPD e una produzione di rifiuti pari a 44,8 kg settimanali contro i 6 della stessa modalità, l'emodialisi ospedaliera risulta nettamente la più gravosa dal punto di vista ecologico. Anche la componente dei trasporti conferma questo quadro: l'HD genera emissioni annue di CO₂ legate alla logistica e agli spostamenti dei pazienti comprese tra 1.782 e 3.163 kg CO₂-eq.

Vanno però tenute a mente anche altre considerazioni. Il confronto tra APD e CAPD infatti, mostra che le prestazioni ambientali non sono uguali sotto tutti gli aspetti: la CAPD eccelle per consumi idrici ed energetici, ma genera quasi il doppio dei rifiuti rispetto all'APD (6 kg contro 2,7 kg settimanali), a causa dell'elevata frequenza di scambi con sacche di piccolo formato. In secondo luogo, gli impatti secondari legati alla produzione dei materiali mostrano una distanza assai più contenuta tra APD e HD (rispettivamente 2.152 e 2.213 kg CO₂-eq annui), a testimonianza del fatto che la produzione di plastica monouso, e non solo il consumo diretto di risorse, rappresenti una causa d'impatto ambientale importante per tutte le modalità dialitiche.

L'analisi dell'Innovation Matrix di KitNewCare, condotta nel quarto capitolo, ha evidenziato come il settore sia in possesso di un vasto repertorio di soluzioni tecnologicamente mature ma ancora non adottate in maniera diffusa.

L'analisi per aree tematiche ha mostrato come la gestione dei rifiuti sia la sfida trasversale più rilevante a livello di sistema, presente in modo significativo in tutte e quattro le categorie applicative censite. Le soluzioni per l'efficienza energetica sono concentrate prevalentemente nell'ambito edilizio e infrastrutturale, e sono presenti pochissime sul contesto domestico del paziente in dialisi peritoneale. La dimensione idrica rimane confinata all'area tecnica dei macchinari, con pochissime proposte che agiscano direttamente a livello di prodotto domestico e anche il settore dei trasporti presenta un numero limitato di innovazioni, nonostante i dati del terzo capitolo ne abbiano mostrato la rilevanza ambientale per l'HD e non trascurabile nemmeno per le terapie domiciliari.

Il gap più significativo, tuttavia, non riguarda nessuna di queste aree ma la quasi totale assenza di innovazioni pensate specificamente per la dialisi

peritoneale domestica. Su quasi settanta proposte censite, solo una decina riguardano concretamente la CAPD o l'APD, e la maggior parte di esse si concentra esclusivamente sulla dimensione logistica e dei trasporti. La vita quotidiana del paziente a casa, lo spazio fisico in cui egli vive il trattamento e i dispositivi che maneggia ogni giorno rimangono quasi del tutto ignorati dall'orizzonte progettuale documentato dall'archivio.

Le linee di intervento progettuale delineate nel quinto capitolo non sono state elaborate in astratto, ma in risposta diretta ai gap identificati nell'Innovation Matrix, e trovano nei casi studio dell'Allegato 2 esempi concreti di come queste direzioni siano già, almeno parzialmente, percorribili.

L'ergonomia e l'usabilità dei dispositivi rappresentano il primo e più urgente ambito di intervento. I cyclers attuali per l'APD derivano da modelli progettati secondo la logica degli ingegneri più che secondo quella dell'esperienza vissuta dal paziente. Il caso del cycler verticale Archimedes, sviluppato da Simergent e analizzato nell'Allegato 2, offre una risposta progettuale importante: il dispositivo riduce l'ingombro a terra, aumenta la mobilità interna, diminuisce i tempi di set-up e, sfruttando il flusso assistito dalla gravità con le sacche sospese nella parte superiore dell'asta, abbatte significativamente il rumore dell'operazione. Per il benessere del paziente è anche molto importante ridurre gli errori procedurali, e di conseguenza l'ansia del paziente e i tassi di peritonite, non solo cercando di modificare il comportamento umano, ma ridisegnando l'architettura fisica del dispositivo stesso.

Il packaging sostenibile è un altro ambito progettuale tra i meno esplorati dall'Innovation Matrix. La consegna mensile di forniture di dialisato preconfezionato al domicilio del paziente genera tonnellate di rifiuti difficili che non solo preoccupano per quanto riguarda l'impatto ambientale ma anche poichè difficili da gestire per chi vive in dialisi. Il design del sistema di fornitura della dialisi peritoneale dovrebbe approfondire soluzioni progettuali che migliorino anche questo aspetto che viene spesso trascurato.

Il gap più importante da colmare sul fronte ambientale è quello del prodotto nell'ambito della riduzione del consumo di risorse. Il sistema Baxter Amia, integrando un dispositivo compatto di filtrazione dell'acqua con concentrati farmaceutici direttamente nel cycler per APD, permette di produrre la soluzione sterile per dialisi a partire dall'acqua locale, eliminando la necessità di far viaggiare camion carichi di sacche preriempite e riducendo drasticamente le emissioni legate al trasporto. Anche il progetto WEAKID, sviluppato nell'ambito del programma europeo Horizon Europe in collaborazione tra Vrije Universiteit Amsterdam, B. Braun e Baxter, è stato progettato con questa logica: un dispositivo indossabile capace di rigenerare e riutilizzare continuamente il dialisato nella cavità addominale eliminerebbe

quasi interamente i rifiuti plastici monouso, abbatterebbe i volumi di liquido consumati, ridurrebbe il fabbisogno energetico complessivo e libererebbe il paziente dalla ciclicità degli scambi. Queste sono le traiettorie tecnologiche che il design dovrà seguire per rendere la dialisi realmente sostenibile.

La dimensione psicologica è forse quella più trascurata dalle politiche di innovazione in nefrologia, e al tempo stesso quella che incide di più sulla permanenza del paziente nella terapia domiciliare. Il disturbo del sonno causato dal rumore dei cyclers notturni è una causa frequente di disagio nell'APD, ed è necessario agire concretamente per riprogettare la qualità degli allarmi dei cyclers per prevenzione dell'alarm fatigue e la tutela del sonno del paziente non sono dettagli ergonomici ma sono condizioni che determinano la qualità della vita del paziente.

Questo è solo uno dei numerosi aspetti che incidono quotidianamente sulla vita dei pazienti in dialisi, per cui risulta essenziale un supporto psicologico strutturale. Integrare strutturalmente un supporto non come opzione aggiuntiva o come strumento per intervenire solo nei casi più gravi, ma come componente costitutiva del percorso di cura, significa riconoscere che la qualità di vita del paziente è un aspetto clinicamente rilevante. Per favorire il benessere del paziente è importante permettere la partecipazione sociale degli utenti e la realizzazione di servizi analoghi al Baxter Travel Club dovrebbe diventare un aspetto essenziale della progettazione del percorso di cura.

Ciò che emerge con chiarezza è che la dialisi peritoneale domiciliare è un sistema complesso che ha un impatto sul corpo del paziente, il suo spazio domestico, le sue relazioni familiari, la logistica degli approvvigionamenti e anche la biosfera nel suo insieme. Proprio questa complessità sistemica rende il design una disciplina particolarmente adatta a guidarne l'evoluzione.

La ricerca ha confermato la tesi di partenza: la dialisi peritoneale domiciliare si è dimostrata essere fra le modalità dialitiche più sostenibili tra quelle attualmente disponibili, ma è evidente che questa sostenibilità è ancora migliorabile. Le opportunità di miglioramento esistono e ciò che manca è solo il framework sistemico per tradurre molti concept e prototipi in cambiamento pratico. Il dato più significativo emerso dall'analisi dell'Innovation Matrix segnala che cambiare le pratiche dialitiche richiede la collaborazione tra ricercatori, progettisti, clinici, aziende biomedicali, istituzioni sanitarie e pazienti.

In questo senso, la linea guida più trasversale che questa ricerca propone è quella del co-design come metodo. La voce dei pazienti deve entrare strutturalmente nei processi di innovazione dello sviluppo di prodotti, servizi e ambienti per la dialisi domiciliare. Migliorare l'esperienza del paziente è, in

ultima analisi, anche un modo per rendere più sostenibile il sistema

Un altro elemento unificante è la necessità di agire su più scale simultaneamente: il singolo prodotto, il servizio, il sistema. L'Innovation Matrix ha mostrato come la maggior parte delle soluzioni mature si collochi a livello di prodotto per i rifiuti, e a livello di sistema e servizio per l'energia e l'acqua.

Per completare questa conclusione è necessario riconoscere i limiti della ricerca appena presentata. L'analisi dell'impatto ambientale si è basata su studi di Life Cycle Assessment disponibili in letteratura, che presentano variabilità nei metodi e nei contesti di riferimento. Per questo i dati riportati non devono essere intesi come valori assoluti ma come ordini di grandezza indicativi. Anche l'Innovation Matrix di KitNewCare pur rappresentando una risorsa ben strutturata, è uno strumento dinamico che non esaurisce l'intero panorama delle innovazioni esistenti nel settore. Infine, un altro aspetto importante è che questa tesi non ha potuto condurre ricerche primarie con i pazienti. I patient journey descritti nel terzo capitolo si basano su fonti cliniche e documentazione di protocollo e non su osservazioni dirette, che sarebbero state sicuramente preziose per definire linee guida di intervento progettuale ancora più efficaci e aderenti alla realtà. Queste limitazioni aprono direzioni per ricerche future.

Il passo più urgente al momento è la validazione delle linee guida progettuali attraverso processi di co-design strutturati con pazienti e caregiver. Anche lo sviluppo di un framework standardizzato che permetta una valutazione dell'impatto ambientale delle terapie dialitiche domiciliari più precisa e omogenea è molto importante, poichè questo permetterebbe confronti più omogenei e veritieri. Questa tesi parte dal desiderio di indagare la contraddizione secondo cui il settore sanitario, chiamato a tutelare la salute umana, è responsabile in maniera significativa delle emissioni globali di gas serra e del consumo di risorse. La dialisi, in quanto terapia cronica ad altissima intensità di materiali e infrastrutture rappresenta un ambito particolarmente rilevante da analizzare, consentendo di approfondirne le criticità e individuare nuove opportunità progettuali in grado di ridurre l'impatto ambientale del trattamento e, al tempo stesso, migliorare la qualità di vita dei pazienti. Il design ha un ruolo essenziale in questo processo, come vero e proprio agente di cambiamento.

ALLEGATO 1 – MATRIX OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS

Dialysis Installation

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/PD	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
1	Adeguamento del flusso del liquido di dialisi al flusso sanguigno	Funzionalità presente nelle macchine per emodialisi delle serie 5008 e 6008 di Fresenius che verrà implementata nella prossima generazione di macchine per emodialisi. Ciò consentirà di ottimizzare il consumo di dializzato	HD	Ospedaliero e domiciliare	9	Fresenius Baxter B.Braun	https://doi.org/10.1093/ndt/gf004.50491	Acqua
2	Recupero dell'acqua trattata con osmosi inversa	Reiniezione dell'acqua di scarto dell'osmosi inversa e del permeato in eccesso nell'acqua di alimentazione	HD	Ospedaliero e domiciliare	9	Fresenius (5008/6008), Baxter, B.Braun	https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/resources	Acqua
3	Aggiornamento dell'impianto di trattamento delle acque	Impianto di osmosi inversa di nuova generazione completamente automatizzato e con una minore produzione di acqua di scarto	HD	Ospedaliero	9	Fresenius, Baxter, B.Braun	https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/resources/upgrade-water-treatment-systems-dialysis-unit	Acqua
4	Riutilizzo dell'acqua di scarto dell'osmosi inversa	Accumulo dell'acqua in eccesso proveniente da osmosi inversa per il riutilizzo in sistemi di acque grigie. L'Unità F è progettata per lo stoccaggio e il pretrattamento dell'acqua di scarto RO prima del suo riutilizzo	HD	Ospedaliero e domiciliare	7	Fresenius Water Technology, Isopure (B.Braun), Gambro/Baxter	https://doi.org/10.1011/j.1542-4758.2009.00332.x Digital Object Identifier (DOI)	Acqua
7	Impiego di membrane a osmosi diretta	Sono richiesti test per la validazione della tecnologia delle acquaporine in questa applicazione medica	HD	Ospedaliero	4-5	Aquaporin A/S (Danimarca), Toray Industries	https://www.fifibsp.com/content/news/aquaporin-membranes-cut-hemodialysis-water-costs	Acqua
8	Distribuzione centralizzata dell'acido	Unità centralizzata per l'erogazione del concentrato acido alle macchine per emodialisi, al posto di un canister per singola seduta	HD	Ospedaliero	9	Fresenius Medical Care, B.Braun, Bello	https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/resources/central-delivery-acid-haemodialysis	Rifiuti
9	Somministrazione centrale di bicarbonato	Sulla base delle pubblicazioni del Sig. Straglier, un sistema centralizzato di dosaggio e distribuzione della soluzione di bicarbonato deve essere riconfermato attraverso test, seguiti da una fase pilota	HD	Ospedaliero	4-6	Straglier System (Belgio), Fresenius (soluzioni centrali)	1. STRACIER Andre, SNAVE B. - Bicarbonate concentrate: no longer contaminated. EDTNA-ERCA Journal 11, 1989, 21-22	Rifiuti
10	Riutilizzo del dializzato esaurito come fertilizzante	Il dializzato esausto può essere una fonte di materiale fertilizzante e di acqua grigia, per la quale sarà necessario un trattamento del flusso di rifiuto grezzo a seconda del suo successivo utilizzo. Presso l'UMCU non è ancora presente alcun sistema.	HD	Ospedaliero	9	UMCU (UMC Utrecht), Università di Wageningen (NL)	DOI: 10.1055/j.ajkd.2008.03.022 DOI: 10.1055/j.ajkd.2008.04.005 https://doi.org/10.1016/j.resourec.2020.05541	Rifiuti
11	Rimozione dei residui dal dializzato esaurito	Ricerca di tecniche efficaci per la rimozione dei residui farmaceutici	HD	Ospedaliero	4-5	Pharmafilter BV (NL), KWR Water Research Institute		Rifiuti
12	Riutilizzo dei dializzatori	Grazie al dispositivo di pulizia di Novaflux, un dializzatore può essere riutilizzato almeno 40 volte. Nei Paesi Bassi saranno condotti test di laboratorio parallelamente alla definizione dei requisiti necessari per la certificazione in Europa	HD	Domiciliare	7	Novaflux Technologies (USA), Gibotech (DK)	https://novaflux.com	Rifiuti

Dialysis Installation

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/PD	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
49	Trattamento bio-based delle acque reflue	I sistemi di biopurificazione sfruttano l'azione combinata di microrganismi e piante acquatiche per il trattamento naturale delle acque reflue, garantendo ridotte esigenze manutentive e l'assenza di additivi chimici.	HD/PD		8	Alnarp Clean Water	www.alnarpcleanwater.se	Rifiuti
50	Trattamento dell'aria e dell'acqua mediante ozono	La tecnologia di ossidazione a ozono costituisce una soluzione economicamente vantaggiosa ed efficiente per il trattamento dell'aria e delle acque. Il processo non richiede l'utilizzo di reagenti chimici e non genera residui o sottoprodotti dannosi.	HD/PD		9	Mellifiq	https://mellifiq.com	Rifiuti
51	Sistema in loco per la decontaminazione dei rifiuti infettivi e la depurazione delle acque reflue	Trituratori intelligenti trattano i rifiuti ospedalieri, convogliandoli a un impianto in loco dove vengono sottoposti a decontaminazione.	HD/PD		9	Pharmafilter	https://pharmafilter.itd.com	Rifiuti
56	Impiego di robot nella dialisi	Le tecnologie robotiche favoriscono l'automazione della gestione logistica ospedaliera e l'impiego di sistemi centralizzati di sterilizzazione dedicati alla distribuzione di dispositivi e strumenti sterili.	HD/PD		9	Gibotech	https://www.gibotech.dk/en/case/fully-automated-sterilization-centers-at-herlev-hospital-and-rigshospitalet	Acqua
65	Bioteologie per il trattamento dei rifiuti e delle acque reflue	Il controllo biologico degli odori nell'area dei rifiuti evita l'impiego di sostanze chimiche, ozono o costosi sistemi di refrigerazione. Le bioteologie sono inoltre utilizzate negli impianti di trattamento delle acque reflue.	HD/PD		7	Bioteria	https://smartcitysweden.com/companies/1104/bioteria-ab/	Acqua
66	Preriscaldamento dell'acqua di processo	I sistemi di dialisi ad alta efficienza utilizzano energia rinnovabile per il riscaldamento dell'acqua, con acquisizione digitale dei dati per il monitoraggio e l'ottimizzazione.	HD/PD		9	GreenTec, Germany	https://greentecdialysis.com	Energia
67	Monitoraggio centralizzato del consumo di acqua ed energia	I sistemi di performance permettono il monitoraggio digitale dei flussi di produzione e consumo di acqua ed energia, proponendo strategie per la minimizzazione degli sprechi di risorse.	HD/PD		9	GreenTec, Germany	https://greentecdialysis.com	Acqua
71	Polvere concentrata di acido in forma secca	Fornitura centralizzata di acido tramite concentrato in polvere secca	HD/PD		9	Fresenius (Granumix) Bbraun (Ecomix)	DOI: 10.69097/41-03-2024-010 https://catalogs.bbraun.com/en-01/p/PRD00010206/ecomix-revolution-automated-mixing-device-for-acid-concentrates?bomUsage=documents	Rifiuti

Operational Practices

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/PD	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
23	Sostituto non tossico della formalina per la preservazione strutturale e molecolare di campioni tissutali	Adatto per biopsie renali	HD/PD		9		https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182965	Rifiuti
26	Divise sanitarie antibatteriche, sostenibili e confortevoli	Tessuti antivirali con proprietà antimicrobiche organiche, realizzati con fibre naturali sostenibili e biodegradabili			9		https://www.healthtextiles.com/case/hospital-trial-of-healthcare-uniforms/	Rifiuti
30	Pannelli privacy a lunga durata per i pazienti	Rispetto alle tende standard, sono più facili da personalizzare, pulire e hanno una durata di vita maggiore	HD/PD		9			Rifiuti
34	Materiale tessile per l'assistenza ai pazienti	Sistemi a cassetta con gestione rapida, basso consumo di materiale e costi di trasporto ridotti rispetto ai sacchetti per rifiuti tradizionali.	HD/PD		9			Rifiuti
39	Sistema di sacchetti per rifiuti	Sistemi a cassetta con gestione rapida, basso consumo di materiale e costi di trasporto ridotti rispetto ai sacchetti tradizionali.	HD/PD		9			Rifiuti
40	Polimero biodegradabile per articoli monouso	Polimeri completamente biodegradabili alternativi per articoli usa e getta come copriscarpe, cuffie, grembiuli, lenzuola e borse.	HD/PD		9			Rifiuti
41	Contentori per rifiuti pericolosi alternativi a base bio	Contentori per rifiuti pericolosi in materie prime rinnovabili (come il legno), con drastica riduzione delle emissioni di CO ₂ .	HD/PD		9			Rifiuti
43	Disinfettante per mani senza alcol	Soluzioni alternative di pulizia e disinfezione senza alcol, che minimizzano l'uso di plastica e prodotti chimici.	HD/PD		9			Rifiuti
44	Dispenser anti-spreco per guanti	Dispenser progettati per erogare un guanto alla volta, riducendo il rischio di guanti che cadono dalla scatola e vengono sprecati.	HD/PD		9			Rifiuti
55	Autoclavi con uso efficiente di energia e acqua		HD/PD		9			Energia
68	Soluzioni digitali per il trasporto esterno di pazienti e materiali		HD/PD		9			Trasporto

Home Microclinic Care

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/DP	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
72	Trattamento in loco dei rifiuti infettivi	Attrezzatura per tritare e decontaminare i rifiuti infettivi, consentendo di gestirli come rifiuti urbani.	HD/PD		9		https://www.wateridas.com/ https://www.realsys.fr/en/steripius/	Rifiuti
73	Anticoagulazione regionale con citrato	Evita l'anticoagulazione sistemica con eparina (a basso peso molecolare).	HD/PD		6		https://www.asn-online.org/education/kidneyweek/2019/program-abstract.aspx?controlId=3237191#~:text=Abstract%20details%20for%20Kidney%20Week%202019,%20ASN's%20Mission%20T	Rifiuti

Building related

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/PD	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
5	Dispositivo portatile per emodialisi basato sulla rigenerazione del dializzato.	La tecnologia NeoKidney di NextKidney è attualmente in fase di sperimentazione e potrebbe rendere possibile l'utilizzo di un dispositivo compatto per emodialisi in ambito domiciliare.	HD	Ospedaliero e domiciliare	6	Fresenius Baxter B.Braun	https://doi.org/10.1093/ndt/gfy044.sp491	Acqua
6	Dispositivo portatile per dialisi peritoneale basato su dialisi peritoneale a flusso continuo con rigenerazione del dialisato.	WEAKID (programma CORDIAL) e AWAK-PD sono in fase di validazione clinica.	PD	Domiciliare	5	NextKidney (NeoKidney), Fresenius (progetto GENIUS), Baxter	https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/resources	Acqua
13	Produzione in linea di emodialisato a domicilio (dall'acqua di rubinetto + unità di osmosi inversa portatile)	Comprende: valvola a triflusso, due filtri grossolani, addolcitore, pompa di rilancio, unità RO portatile, anello di distribuzione domestico, uno o due filtri aggiuntivi.	HD	Ospedaliero e domiciliare	9	Novaflex Technologies (USA), Gibotech (DK)		Rifiuti
14	Produzione in linea di dialisato peritoneale a domicilio	Vedere n. 13. È necessario un concentrato di elettroliti e glucosio.	PD		6	Fresenius (sistema 5008S HHD)		Rifiuti
15	Produzione in linea di dialisato peritoneale a domicilio tramite distillazione	Può essere incluso un kit solare per le aree remote.		Ospedaliero e domiciliare	6	Progetto WEAKID (EU CORDIAL), AWAK Technologies		Acqua
16	Prelievo di sangue a domicilio del paziente / trasferimento del sangue per posta	Imballaggi postali speciali come quelli usati per lo screening della popolazione.	HD	Domiciliare	9	Sanquin (NL), Home Sample Collection (UK NHS), Cerba Healthcare		Trasporti
17	Determinazione di esami di laboratorio a domicilio (con streaming diretto al fascicolo elettronico del paziente)	Monitoraggio remoto dei risultati del trattamento tramite streaming diretto con il fascicolo elettronico del paziente.	HD/PD	Domiciliare	7	Abbott (i-STAT), Roche (cobas point-of-care), Siemens Healthineers		Trasporti
18	Misurazione della pressione arteriosa a domicilio con condivisione nel fascicolo elettronico del paziente	Comunicazione con i pazienti e potenziamento dell'automonitoraggio per ridurre gli spostamenti.	HD/PD	Domiciliare	9			Trasporti
19	Dialisi domiciliare (assistita o non) al posto della dialisi in centro	La dialisi domiciliare non assistita ha un impatto ambientale inferiore.	HD	Domiciliare	9			Trasporti
20	Microclinica invece di HD in centro	L'uso delle microcliniche può ridurre il trasporto complessivo legato all'HD.	HD	Ospedaliero e domiciliare	9			Trasporti
21	Emodialisi assistita da energia solare	Uso di energia rinnovabile (solare), in particolare per microcliniche remote, riducendo sia gli spostamenti che il consumo energetico.	HD	Ospedaliero e domiciliare	9			Energia

Building related

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/PD	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
22	Refrigerante a basso impatto climatico (propano)	I refrigeranti sono gas serra ad alto impatto. L'uso del propano come refrigerante naturale riduce drasticamente le emissioni.	HD		9	Enrad		Rifiuti
24	Sistemi di ventilazione ad alta efficienza per strutture sanitarie	Sistema di ventilazione innovativo che raggiunge condizioni di ultra-purezza con il 30% di energia in meno rispetto ai sistemi a flusso laminare standard.	HD		9	Avidicare	https://doi.org/10.1016/0195-6701(82)90004-4	Energia
25	Illuminazione ergonomica sostenibile per il lavoro	Sistema di ventilazione innovativo che raggiunge condizioni di ultra-purezza con il 30% di energia in meno rispetto ai sistemi a flusso laminare standard.	HD		9	Chromaviso	https://chromaviso.com/en/excellence-hub/research-and-evidence-lighting-solutions	Energia
27	Ciclo di vita dell'intero impianto HVACR	Monitoraggio dei sistemi HVACR per identificare perdite nascoste, pianificare la manutenzione predittiva e ottimizzare i consumi.	HD		9	Climacheck	https://home.climacheck.com/about-us/publications/	Energia
28	Pavimentazione sostenibile per strutture sanitarie	Monitoraggio dei sistemi HVACR per identificare perdite nascoste, pianificare la manutenzione predittiva e ottimizzare i consumi.	HD		9	Hallbar Teknik		Rifiuti
29	Sistema di ventilazione a basso consumo energetico	Apparecchiature specializzate per reparti ospedalieri che controllano ventilazione, raffreddamento, riscaldamento e illuminazione tramite diffusori d'aria attivi.	HD		9	Lindinvent		Energia
31	Mobili sostenibili per spazi pubblici	Interior design sanitario con materiali sostenibili e naturali, che migliora il benessere di pazienti e operatori riducendo l'impronta ambientale dell'ospedale.	HD		9			Rifiuti
32	Pavimentazione	Come il n. 28, fornitore di finiture per pavimenti sostenibili.	HD		9	Gerflor		Rifiuti
33	Lavabi sostenibili	Lavabi certificati ecologicamente, con materiali privi di pori e non tossici, facili da pulire, mantenere e rinnovare.	HD		9	Noas - Sweden		Rifiuti
35	Marketplace di condivisione per mobili e risorse	Piattaforme di condivisione per attrezzature mediche e non mediche, sia interne che tra organizzazioni diverse.	HD		9	Floow2		Rifiuti
36	Pulizia con CO ₂ per refrigeratori	La pulizia di sistemi di ventilazione e refrigerazione aumenta l'efficienza e la sicurezza degli impianti esistenti, prolungandone la vita utile.	HD		9	Oconordic		Rifiuti
37	Sistemi di segnaletica modulare basati su cloud	Gli ospedali necessitano di segnaletica chiara. I sistemi modulari usano materiali riciclati e servizi cloud per facilitare l'aggiornamento della segnaletica.	HD		9	Accuss		Altro

Building related

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/DP	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
42	Teleriscaldamento e teleraffreddamento a bassa temperatura	Se disponibile nelle vicinanze dell'impianto HD.	HD		9	Ectogrid		Energia
45	Automazione e monitoraggio degli edifici per ridurre i consumi energetici		HD		9	Schneider Elettric		Energia
46	Distruzione dell'ossido di azoto		HD		9	Medicvent		Rifiuti
48	Pannelli acustici sostenibili	I distruttori eliminano le perdite di protossido di azoto all'interno del reparto ospedaliero, evitando sprechi e riducendo i costi.	HD		9	Ecophon		
52	Pavimentazione	Soffitti acustici sostenibili e assorbitori a parete per il comfort interno, realizzati con materiali rinnovabili.	HD		9	Bona		Rifiuti
53	Pavimentazione		HD		9	Tarket		Rifiuti
54	Ventilazione		HD		9	NV		
57	Fornitore di ventilazione in ambiente medicale		HD		9	OR Ventilation		Energia
58	Pannelli divisorii mobili		HD		9	Silentia		
60	Doccia con riciclo dell'acqua	Docce intelligenti che riciccano l'acqua nel sistema, controllando flusso e temperatura per minimizzare gli sprechi.	HD		6	Orbital systems		Acqua
61	Sistemi di illuminazione ad alta efficienza energetica		HD		9	Several		Energia

Building related

N.	INNOVAZIONE	DESCRIZIONE	HD/DP	CONTESTO	TRL	ISTITUTO/FORNITORE	RIFERIMENTO	IMPATTO PRIMARIO
62	Sistemi di energia rinnovabile		HD		9	Several		Energia
63	Sistema di raccolta dei rifiuti		HD		9	Envac		Rifiuti
64	Sistema standardizzato per condotti di ventilazione isolati		HD		9	Climate recovery		Energia
69	Materiali da costruzione che immagazzinano carbonio		HD		9	Paebbl	https://paebbl.com/	Altro
70	Soluzioni di edificio intelligente per ottimizzare le impostazioni; sensori di movimento		HD		9			Energia

ALLEGATO 2 – CASI STUDIO

Benessere nel trattamento

1. Organizzazione della casa e del proprio spazio di cura

Una delle più grandi sfide logistiche e psicologiche per il paziente dializzato è quella della gestione dei materiali di consumo. I pazienti si trovano spesso a dover convivere con grandi volumi di scatole di cartone e dispositivi medici invasivi. Fresenius Kidney Care e NxStage Medical hanno sviluppato linee progettuali volte a massimizzare l'efficienza spaziale. È importante anche cercare di demedicalizzare l'ambiente di vita dei pazienti: a differenza dei pazienti che effettuano l'emodialisi in ospedale, e che possono separare fisicamente e simbolicamente i momenti della cura dalla vita quotidiana, i pazienti domiciliari convivono costantemente con la terapia nel proprio spazio di vita. Viene suggerito l'impiego di cassettiere in plastica trasparente dotate di ruote per l'organizzazione dei piccoli dispositivi, facilitandone lo spostamento.^{52 53}



HOME DIALYSIS

Set up your space for home dialysis

Ready to prepare your space for home dialysis? Your care team is here to help! They will work with you to find ways to store all your supplies.

Try these tips to organize your space:



Look at stacking higher, as well as wider.

Depending on your space, you may be able to stack some supplies on top of each other as long as they're stable and don't go over the height of your shoulders.



Maximize unused storage space.

Try sliding supplies under beds or stacking them in closets, out of sight.



Stash small supplies in movable storage.

Plastic stacking drawers on wheels can hold small supplies—and be moved out of the way when not in use.



Order fewer supplies at a time.

Having one month of supplies on hand is ideal. However, it is possible to have smaller, more frequent deliveries.



Take what you can out of boxes.

Some supplies have to remain boxed if you want to return what you don't use. Smaller items can be removed to cut down on volume.



WANT MORE IDEAS ABOUT PREPARING YOUR SPACE FOR HOME DIALYSIS?

Talk to your care team today or visit [FreseniusKidneyCare.com/AtHome](https://www.freseniuskidneycare.com/AtHome)

KCHT00887_v01 | © 2019, Fresenius Medical Care. All Rights Reserved.

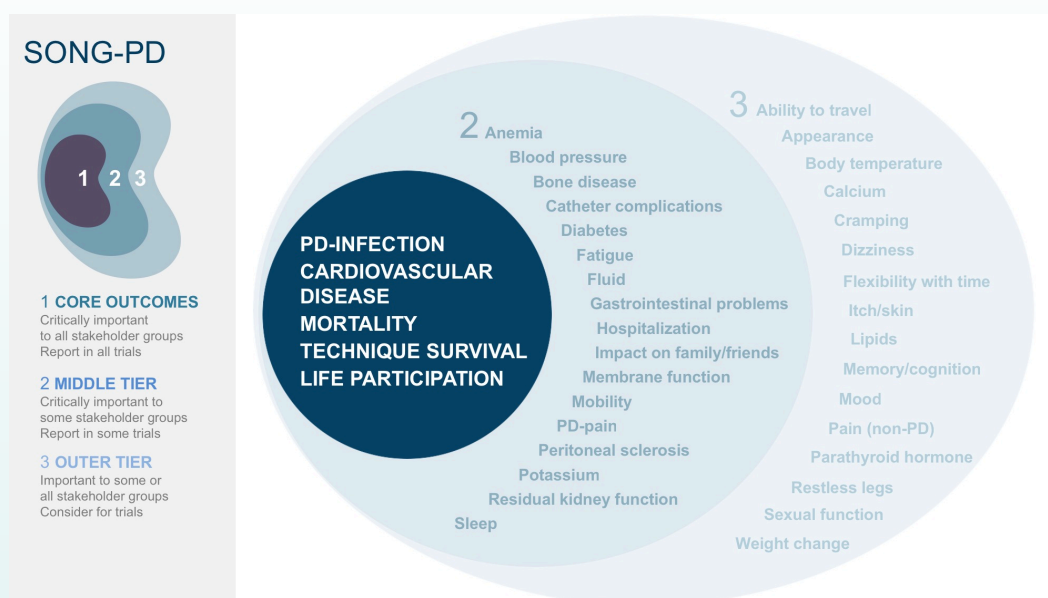
Thrive On



2. Co-design con SONG-DP

Per rispondere alle reali priorità psicofisiche espresse dai pazienti e dai loro assistenti di cura e non solo ai parametri di efficacia del trattamento prettamente clinica è necessario il co-design di tutte le proposte progettuali. L'iniziativa SONG-PD ha mandato avanti dei trial clinici randomizzati sulla dialisi peritoneale definendo anche i bisogni complessi di pazienti e caregiver. La Standardized Outcomes in Nephrology-Peritoneal Dialysis (SONG-PD) ha quindi ridefinito gli outcome clinici attraverso un processo strutturato di co-design.

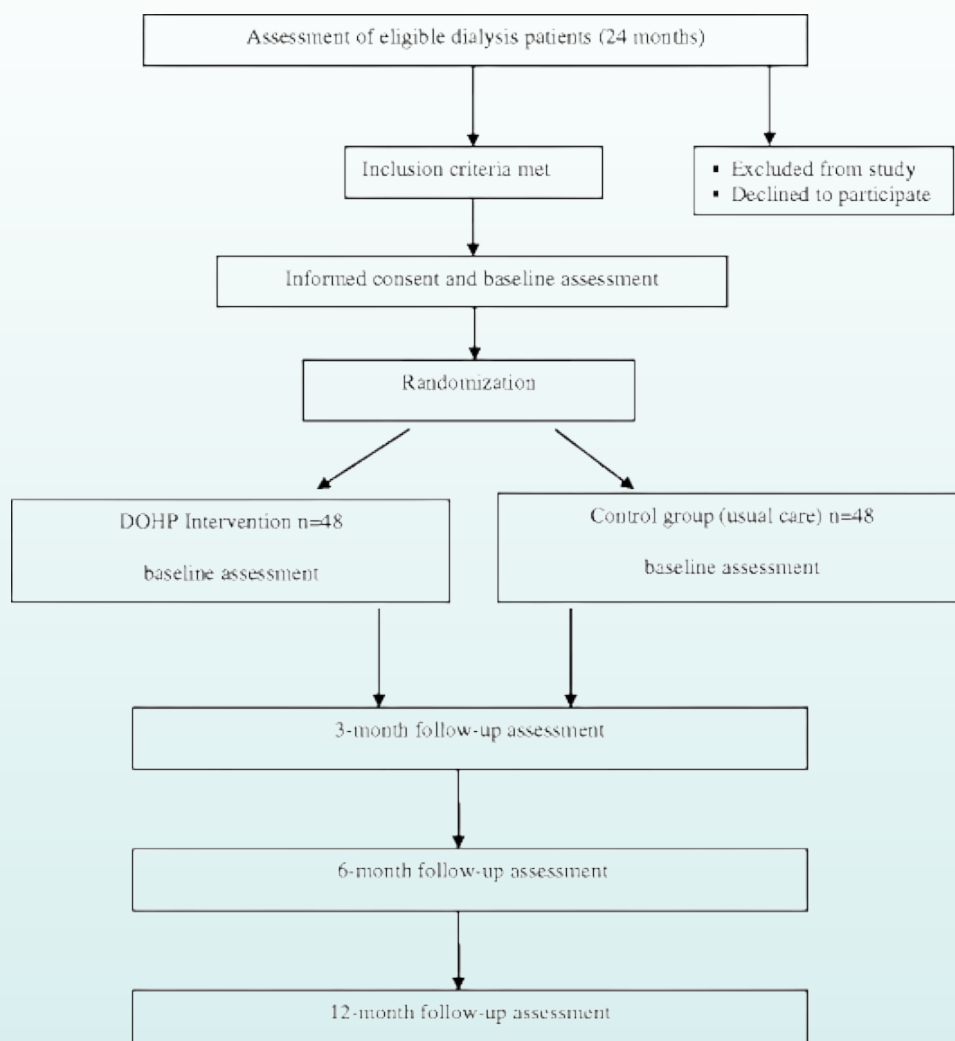
Il workshop si è svolto a Vancouver nel maggio 2018 e ha riunito 19 pazienti e caregiver e 51 professionisti della salute sotto la guida di un comitato scientifico internazionale. È stato possibile identificare i fattori cruciali e classificare gli outcome in una struttura a tre livelli: critici per tutti gli stakeholder, per gruppi specifici di stakeholder e fattori importanti ma non prioritari.^{62 68}



3. DOHP

L'avvio della terapia dialitica è un momento di grande destabilizzazione psicologica per tutti i pazienti dializzati. Nel corso della propria vita i pazienti in dialisi soffrono frequentemente di disturbi depressivi e d'ansia che a volte possono anche compromettere l'aderenza al trattamento con un conseguente aumento dei costi sanitari complessivi. Per rispondere a questa criticità è necessario agire non solo nei momenti critici, ma adottare strategie di promozione della salute: il team multidisciplinare TRIPOD ha fatto proprio questo, adattando l'originale Optimal Health Program (OHP) formulando il Dialysis Optimal Health Program (DOHP).

Il DOHP si configura come un percorso di supporto psicologico della durata di 9 settimane che si basa su un approccio patient-centered. Attraverso uno studio controllato randomizzato condotto su 96 pazienti, è stato verificato come questo percorso migliori effettivamente il benessere del paziente e come riduca anche il tasso di abbandono della terapia domiciliare.⁶⁹



4. The Baxter Travel Club

Il trattamento dialitico costringe il paziente a una pianificazione rigida e vincolata alla localizzazione geografica della propria macchina domiciliare. Il servizio Baxter Travel risponde a questo con un sistema di logistica globale che permette la consegna programmata di liquidi e dispositivi di consumo in oltre 60 paesi del mondo. Il funzionamento si basa su una piattaforma che gestisce tutto il servizio, evitando anche che il paziente debba farsi carico di costi di trasporto. Il programma include inoltre anche un servizio di assistenza disponibile ventiquattr'ore su ventiquattro e un servizio di sostituzione rapida in caso di dispositivo guasto.⁵⁵



5. Ciclatori Verticali

I ciclatori per l'ADP moderni derivano dallo sviluppo dei primi modelli Baxter degli anni '80, configurati come grandi unità orizzontali da tavolo che costringono il paziente a dedicare dello spazio della propria camera a questo macchinario e costringendolo a rimanere fermo a letto per tutta la durata del trattamento. Uno studio di conjoint analysis commissionato su 42 pazienti in dialisi peritoneale, 24 non-PD e 52 infermieri specializzati ha valutato la preferenza rispetto a un ciclatore innovativo a sviluppo verticale (denominato "Cycler X" o "Archimedes", sviluppato da Simergent). La soluzione propone un design a piantana verticale mobile, modellato sull'archetipo di un appendiabito domestico.

I dati raccolti da questo studio hanno evidenziato come il 90% degli intervistati preferisca la configurazione verticale rispetto ai modelli tradizionali da tavolo. Offre infatti un ingombro minimo del pavimento, un'elevata mobilità interna e una riduzione dei tempi di set-up, oltre a permettere un flusso assistito dalla gravità, con le sacche sospese nella parte superiore dell'asta, riducendo di molto il rumore dell'intera operazione, un aspetto molto importante per la qualità del sonno dei pazienti. ^{52 70}



6. Sound Redesign

Nelle terapie sostitutive renali, la presenza costante di allarmi acustici rappresenta uno dei fattori di maggiore stress psicologico sia per i pazienti che per i caregiver, un fenomeno noto come "alarm fatigue". Un'analisi sistematica condotta da Pruitt et al. (2023) ha esaminato 356 linee guida di progettazione degli allarmi industriali, identificando 327 raccomandazioni (pari al 91.9%) direttamente applicabili al contesto sanitario. Queste linee guida si strutturano attorno a nove domini chiave, tra cui: Riduzione degli Allarmi, Appropriatezza, Dipendenza dal Contesto, Caratteristiche del Design, Prioritarizzazione, Urgenza e Controllo dell'Utente.⁷¹

Nel contesto della dialisi peritoneale automatizzata (APD) notturna, l'applicazione di questi principi si traduce nella transizione da allarmi acustici invasivi a stimoli aptici discreti. Il ciclatore notturno (es. sleep•safe harmony) può essere accoppiato via Bluetooth a un dispositivo indossabile medico da polso (es. il bracciale Corsano CardioWatch, leggero, impermeabile, approvato FDA e con un peso di soli 19 grammi). In caso di anomalie di flusso non critiche (come una transitoria occlusione del catetere causata dal posizionamento corporeo notturno), la macchina non emette alcun segnale acustico stridente. Il bracciale genera invece una vibrazione tattile delicata e progressiva sul polso del paziente, mentre lo schermo del ciclatore si attiva a bassa intensità acustica o visiva (auto-dim screen), visualizzando animazioni grafiche semplificate per guidare l'utente nella risoluzione manuale del problema. Questa riprogettazione qualitativa degli stimoli previene l'interruzione del sonno del partner, riduce drasticamente l'ansia da trattamento e contrasta l'alarm fatigue.⁷²

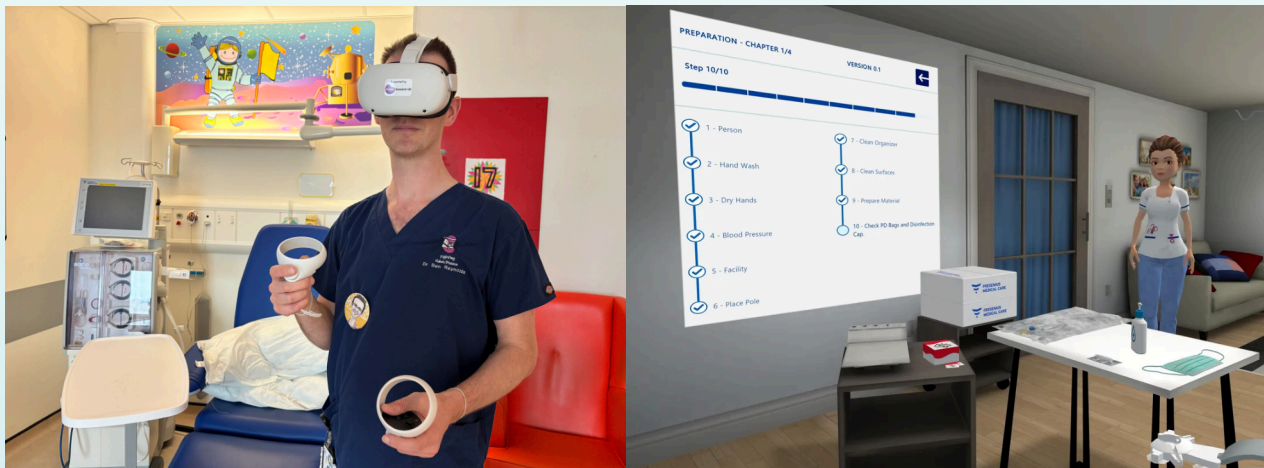


7. Gamification e Addestramento dell'Apprendimento nella Dialisi Peritoneale

Il trasferimento sicuro dei protocolli clinici di dialisi peritoneale a soggetti non sanitari rappresenta un pilastro essenziale per prevenire complicanze severe come le peritoniti infettive. Per superare queste barriere, l'introduzione di soluzioni di apprendimento potenziate dalla tecnologia e di dinamiche di gamification può aiutare molto ad alleggerire un processo di apprendimento altrimenti molto faticoso.

lo strumento stay•safe MyTraining VR (sviluppato da Fresenius Medical Care) offre un'esperienza di realtà virtuale (VR) immersiva in 3D che simula fedelmente l'ambiente domestico. Questo sistema in particolare si articola in due modalità operative: la learning mode che fornisce una guida passo-passo in cui un'infermiera virtuale fornisce istruzioni e il paziente deve compiere l'azione corretta per avanzare al livello successivo, e la test mode, una modalità non guidata in cui il paziente deve eseguire autonomamente l'intera procedura.

Tutto ciò stimola la memoria muscolare diminuendo significativamente l'ansia procedurale. Anche a livello di quotidianità può essere introdotta la gamification, per promuovere il benessere biopsicosociale e l'aderenza terapeutica. Un esempio è l'"Onboarding Dialisi", sviluppata dal Consorzio Sanitario Alt Penedès-Garraf e GooApps, che utilizza un formato di videogioco interattivo con avatar personalizzato dal paziente. Nel gioco il paziente affronta un viaggio a tappe per apprendere concetti legati alla patologia renale superare test divertenti sulle linee guida dietetiche.^{73 74 75}

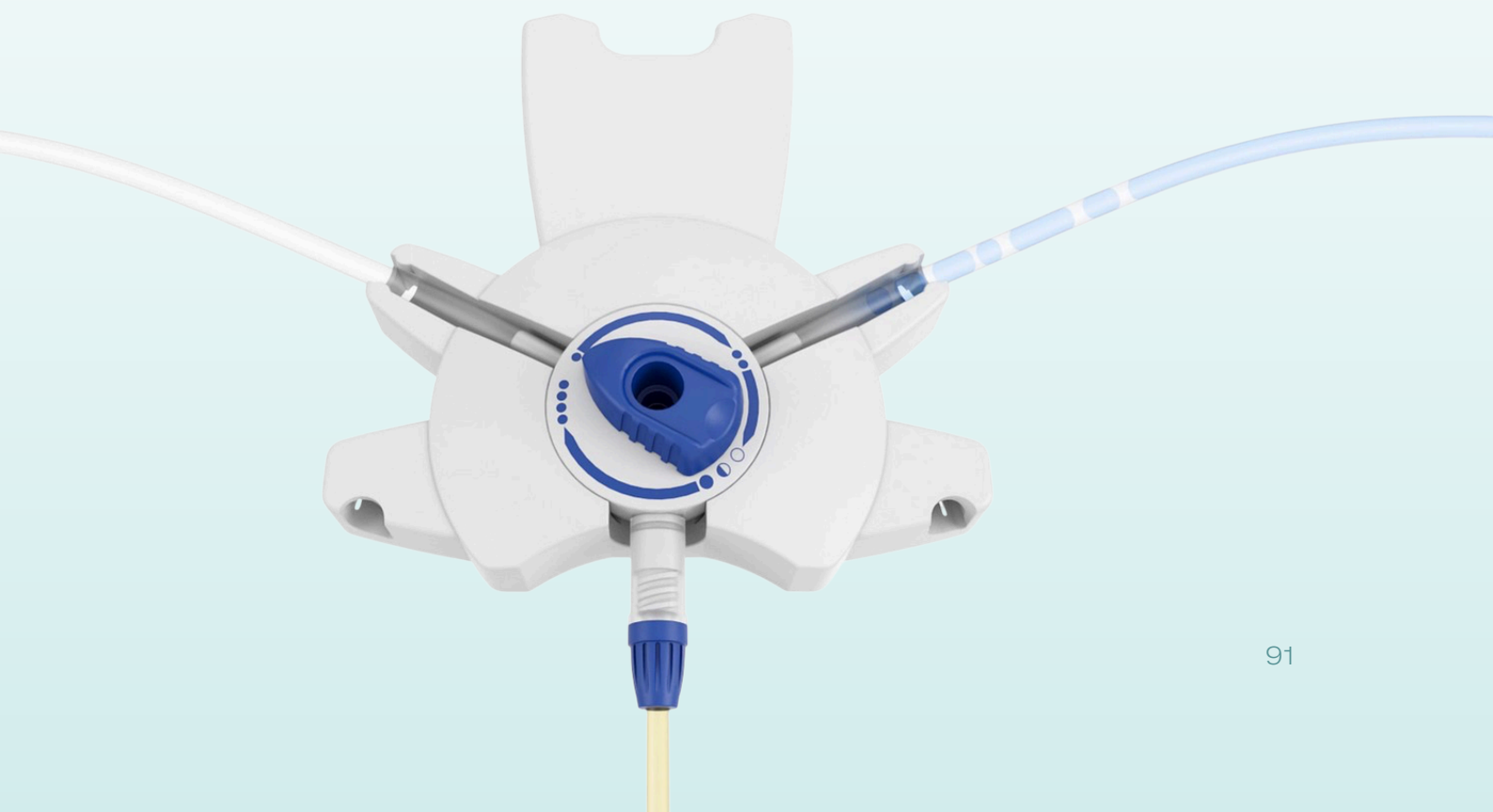


Qualità di vita del paziente

8. Stay-safe DISC

Un fattore di ansia importante per i pazienti dializzati è quello della peritonite infettiva, causata principalmente da contaminazioni da contatto durante le manovre manuali di connessione e disconnessione tra il catetere e le sacche di dialisato. Fresenius Medical Care risolve questo strutturalmente questo problema permettendo di controllare l'intera manovra di scambio ruotando un selettore centrale blu, che guida il paziente in quattro posizioni sequenziali: Drain, Flush, Fill, Close. Ciò elimina la necessità di aprire e chiudere manualmente clamp o di memorizzare sequenze operative complesse. Il sistema integra inoltre la tecnologia brevettata PIN, che inserisce automaticamente un perno sterile nella prolunga del catetere prima della disconnessione, sigillando il circuito prima che questo venga esposto all'ambiente esterno.

Questo sistema riduce del 50% il numero di aperture esposte del circuito rispetto agli accordi tradizionali, riducendo i tassi di infezione.⁷⁶



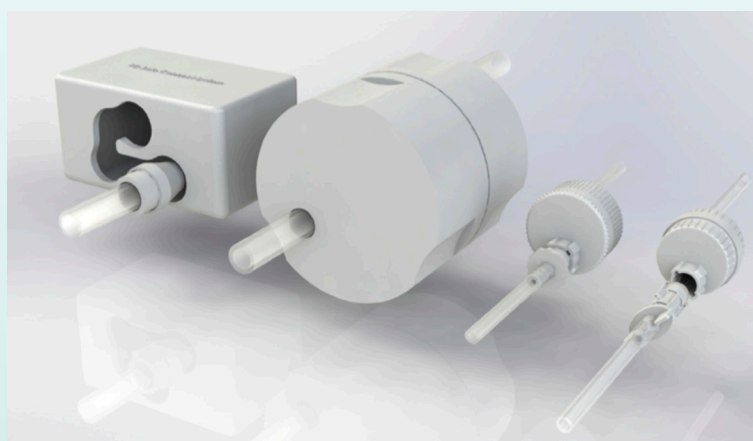
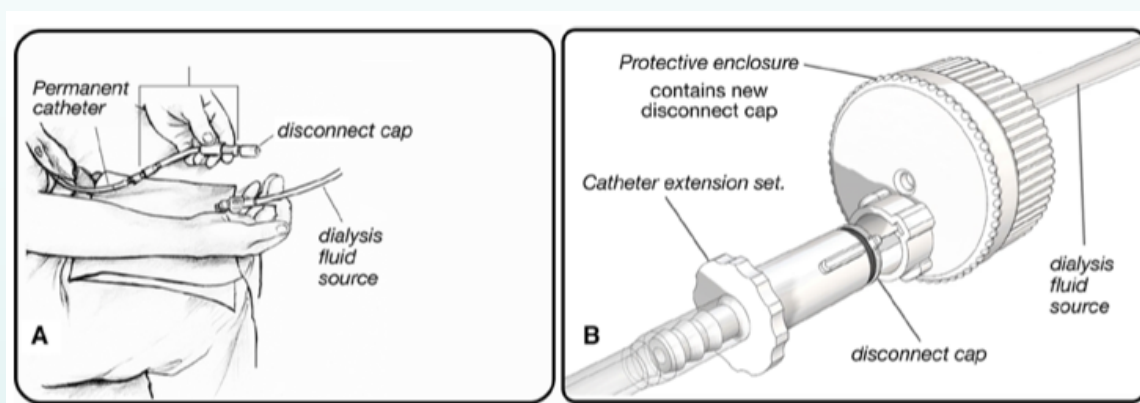
9. Touchless connector system

L'Università del Minnesota ha sviluppato un sistema di connessione che racchiude completamente il punto di collegamento tra catetere e sacca all'interno di un involucro protettivo. In questo modo le operazioni di connessione e disconnessione avvengono senza che il paziente tocchi direttamente le superfici sterili e senza che queste vengano esposte all'ambiente esterno, riducendo il rischio di contaminazione accidentale.

Per valutarne l'efficacia è stato realizzato uno studio sperimentale in cui quattro partecipanti, privi di esperienza nella dialisi peritoneale, hanno eseguito complessivamente 56 procedure di connessione in una condizione di contaminazione estrema. Durante le manovre è stata nebulizzata una soluzione contenente elevate concentrazioni di *Staphylococcus epidermidis* e *Pseudomonas aeruginosa*, due dei principali batteri responsabili delle infezioni correlate alla dialisi peritoneale.

I risultati hanno evidenziato che il sistema touchless non ha mostrato alcuna contaminazione del percorso del liquido dialitico. Sebbene si tratti di uno studio preliminare, i risultati dimostrano come un approccio progettuale che elimini il contatto diretto con le superfici sterili possa ridurre significativamente il rischio di contaminazione e contribuire alla prevenzione della peritonite, aumentando la sicurezza della dialisi peritoneale domiciliare.

76

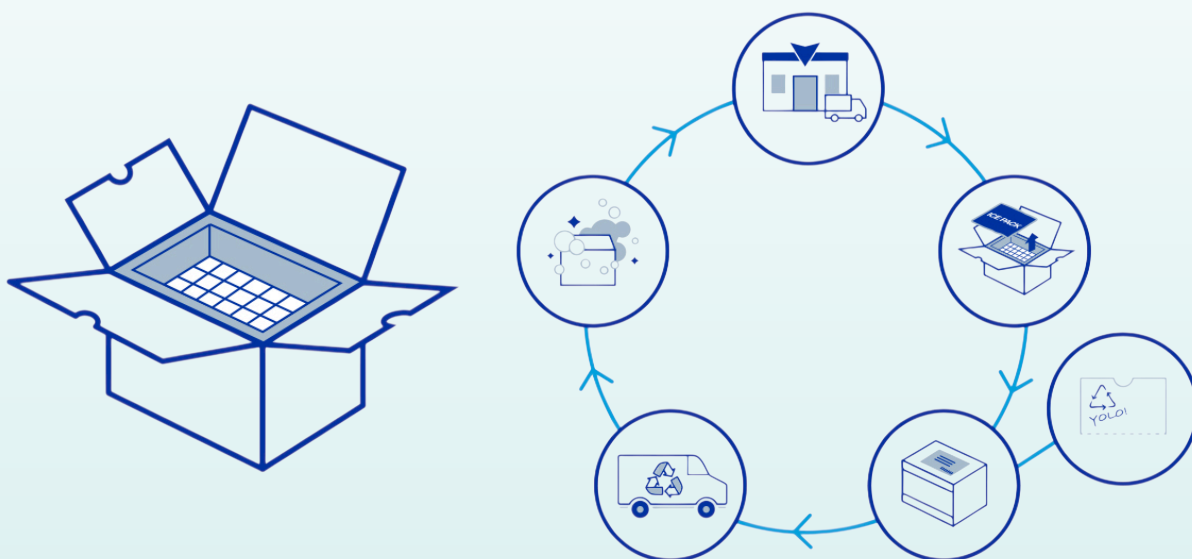


Consumo di risorse

10. FMC Mircera Take-Back Program

Nel 2019, Frieda Bowerman (Vice President Pharma Procurement di Fresenius Medical Care North America) ha ideato un programma di economia circolare basato sul riutilizzo degli imballaggi destinati alla distribuzione di Mircera®, un farmaco frequentemente utilizzato dai pazienti con insufficienza renale cronica in dialisi per il trattamento dell'anemia. Il sistema ha sostituito i tradizionali contenitori monouso in cartone, polistirene e ghiaccio sintetico con shipper isotermici rigidi e riutilizzabili, progettati per mantenere la catena del freddo durante il trasporto. Una volta ricevuta la consegna e trasferite le fiale nel frigorifero domestico, il paziente richiude il contenitore e lo restituisce attraverso il normale circuito logistico. Gli imballaggi vengono inviati a un centro specializzato, dove sono ispezionati, sanificati e reimmessi nel ciclo distributivo per nuove spedizioni.

Sebbene il programma riguardi un farmaco e non direttamente le sacche di dialisi peritoneale, rappresenta un esempio significativo di applicazione dei principi dell'economia circolare alla filiera nefrologica.⁷⁷



11. Produzione di dialisato on-demand

Tradizionalmente, la dialisi richiede il trasporto di grandi quantità di fluidi pre-confezionati in sacche pesanti. È questo un altro componente da prendere in considerazione quando si parla di impatto ambientale legato alla dialisi: quello legato alla produzione delle plastiche. I sacchi del dialisato per DP sono confezionati in materiale plastico, e infatti il PVC costituisce circa il 56% dei rifiuti totali di un paziente in DP: la letteratura scientifica, inoltre, indica come la fabbricazione di 1 kg di plastica richieda mediamente circa 180 litri d'acqua. Nonostante i dati esatti sul consumo idrico per i processi produttivi dei fluidi per dialisi peritoneale non siano disponibili al pubblico, in quanto coperti dal segreto industriale, si può stimare, poiché un sacco vuoto da 2 litri pesa approssimativamente 155 grammi, un consumo di circa 28 litri d'acqua per ogni sacco prodotto.²

Per ovviare a questa problematica il settore si è impegnato nella riduzione del trasporto fisico. Baxter, multinazionale attiva nell'ambito sanitario, ha sviluppato nel 2024 un dispositivo compatto di filtrazione dell'acqua abbinato a concentrati farmaceutici, integrato nel sistema di dialisi peritoneale automatizzata Amia, e ciò permette di produrre soluzioni sterili per dialisi direttamente a casa del paziente utilizzando l'acqua locale. Il sistema è inoltre collegato a una piattaforma di telemedicina, che ne potenzia le capacità di monitoraggio a distanza.⁷⁸

Questo approccio "dematerializza" la logistica pesante, eliminando la necessità di far viaggiare camion carichi di sacche preriempite. Ciò riduce drasticamente l'impronta carbonica legata al carburante e alle emissioni di CO₂, che possono essere fino a quattro volte superiori per i concentrati liquidi rispetto a quelli secchi o semi-secchi, e la riduzione delle emissioni di gas serra rappresenta uno dei principali strumenti per contrastare i cambiamenti climatici e limitare l'impatto delle attività umane sull'ambiente naturale.⁷⁹

12. Il progetto WEAKID: verso la dialisi indossabile

Il progetto europeo WEAKID (Wearable Kidney), sostenuto da Horizon Europe e sviluppato in collaborazione tra istituzioni come la Vrije Universiteit Amsterdam e aziende come B. Braun e Baxter, mira allo sviluppo di un dispositivo indossabile che consenta la dialisi peritoneale continua nel corso della giornata, sfruttando un sistema miniaturizzato di rigenerazione del dialisato. Questa soluzione risulta funzionale anche dal punto di vista prettamente medica, poiché elimina il ristagno della soluzione a favore di una circolazione e una rigenerazione continue del dialisato nella cavità addominale, con conseguente significativo miglioramento della purificazione del sangue. Un dispositivo indossabile che rigenerasse e riutilizzasse continuamente il dializzato consentirebbe di abbattere drasticamente i volumi di liquido consumati, eliminare quasi interamente i rifiuti plastici monouso, ridurre il consumo energetico complessivo e liberare il paziente dalla ciclicità degli scambi, migliorando significativamente la qualità di vita degli utenti.^{80 81}



Integrazione digitale

13. Design d'interfaccia ed esperienza utente

Meno del 50% dei pazienti mantiene la perfetta aderenza alle tecniche asettiche dopo soli 6 mesi, a causa della complessità dei passaggi manuali, e come spiega Dennis Lenard (esperto di MedTech UX), le attuali macchine per dialisi richiedono un periodo standard di addestramento domiciliare che va dalle 6 alle 8 settimane sia negli Stati Uniti che in Europa.

Le interfacce grafiche dei cyclers attualmente in uso sono spesso sviluppate senza avere in mente l'user experience, rendendo difficile l'orientamento in particolare delle persone anziane nell'utilizzo dei macchinari. Le interfacce sono state storicamente progettate seguendo la "logica dei moduli software" degli ingegneri, anziché la sequenza logica dei compiti clinici realmente seguiti da infermieri e pazienti.

Smith et al. (2024) sostengono lo sviluppo di un'applicazione per schermo integrato nel ciclatore con guide digitali interattive interamente ad animate e a colori, strutturate secondo i principi dei Serious Games (giochi digitali con scopi educativi/medici). L'uso del colore è funzionale, impiegando il rosso per indicare zone da non toccare assolutamente, viceversa il verde per le zone sicure e i fluidi sono animati per mostrare la direzione corretta del flusso all'interno dei tubi.

Si chiede al paziente di toccare lo schermo per confermare ogni azione e se l'utente sbaglia la sequenza il sistema mostra un feedback visivo immediato, spiegando come correggere l'errore. E' stato provato come tutto ciò riduca radicalmente gli errori procedurali gravi e il livello d'ansia del paziente, permettendo una risoluzione autonoma degli allarmi e consentendo un coinvolgimento maggiore nell'utilizzo delle interfacce dei cyclers.^{58 65}



BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

1. Lenzen M, Malik A, Li M, et al. The environmental footprint of health care: a global assessment. *Lancet Planet Health*. 2020;4(7):e271-e279. doi:10.1016/S2542-5196(20)30121-2
2. Barraclough KA, Agar JWM. Green nephrology. *Nat Rev Nephrol*. 2020;16(5):257-268. doi:10.1038/s41581-019-0245-1
3. On the Behalf of Conservative treatment, Physical activity and Peritoneal dialysis project groups of the Italian Society of Nephrology, Piccoli GB, Cupisti A, et al. Green nephrology and eco-dialysis: a position statement by the Italian Society of Nephrology. *J Nephrol*. 2020;33(4):681-698. doi:10.1007/s40620-020-00734-z
4. McDonough W, Braungart M. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. 1st ed. North Point Press; 2002.
5. Dolcini M, Ferrè F, Brambilla A, Capolongo S. Integrating environmental sustainability into hospitals performance management systems: a scoping review. *BMC Health Serv Res*. 2025;25(1):764. doi:10.1186/s12913-025-12928-x
6. Jiang Y, Zhang S. Green nephrology: mitigating the environmental burden of dialysis and promoting sustainable kidney care. *Front Med*. 2026;13:1793544. doi:10.3389/fmed.2026.1793544
7. Panuccio V. Teledialisi domiciliare: tecnologia e prossimità per curare i reni. Published online December 17, 2025. <https://www.agendadigitale.eu/sanita/teledialisi-domiciliare-tecnologia-e-prossimita-per-curare-i-reni/>
8. Singh, B., Shukla, P. C., Tiwari, A., Gupta, D., Jaiswal, M., Sheikh, A. A., & Bhagat, R. Dialysis: A life saving approach in renal failure. *J Pharmacogn Phytochem*. Published online 2018. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue1/PartR/6-6-436-712.pdf>
9. Lima F, Pizzo A, Olivari F, Giordana G. Sustainability and dialysis: the 4 main points for a green dialysis. *G Clin Nefrol E Dialisi*. 2024;36(1):72-82. doi:10.33393/gcnd.2024.3127
10. Patrick T. McBride. Milestones in the development of peritoneal dialysis. January 5, 2021. Accessed May 28, 2026. <https://web.archive.org/web/20210105231653/https://www.advancesinpd.com/adv88/pt1milestones88.html>

11. Storia della dialisi peritoneale. In: Wikipedia. 2025. Accessed May 28, 2026. https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Storia_della_dialisi_peritoneale&oldid=147571994
12. Vay, D.L., Robson, J.S., Black, D.A. Renal system disease - Obstruction, Urine Flow, Symptoms | Britannica. Britannica. January 9, 2024. Accessed May 28, 2026. <https://www.britannica.com/science/renal-system-disease/Obstruction-to-the-flow-of-urine>
13. Universidad de Guanajuato, León, Gto, Mexico, Reynaga-Ornelas L. Impact of sleep and dialysis mode on quality of life in a Mexican population. *Southwest J Pulm Crit Care*. 2019;18(5):122-134. doi:10.13175/swjpcc017-19
14. Corciulo R, Russo R. [Cyclers for APD: current potential and possible developments]. *G Ital Nefrol Organo Uff Della Soc Ital Nefrol*. 2009;26(3):355-368.
15. Cancarini G, Santarelli S, Vizzardi V, et al. Governo clinico in nefrologia: organizzazione e sviluppo della dialisi peritoneale. *G Ital Nefrol*. 2024;41(5):1. doi:10.69097/41-05-2024-02
16. Piccoli GB, Murea M, Ben Hmida M, et al. Green, Sustainable Nephrology: State of the Art Needs for Education and Implementation. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2025;20(6):889-901. doi:10.2215/CJN.0000000731
17. Perrotta AMD. Green dialysis: è possibile ridurre l' "impronta ecologica" della dialisi? Corso di dottorato "Arterial hypertension and Vascular biology." UNIVERSITÀ DI ROMA, "SAPIENZA."
18. Green Nephrology. National Kidney Federation. July 2, 2019. Accessed May 28, 2026. <https://www.kidney.org.uk/green-nephrology>
19. Defining Patient Experience - The Beryl Institute. Accessed May 28, 2026. <https://theberylinstitute.org/defining-patient-experience/>
20. Moseley AM, Campbell AD. Human-Centred Design Processes for Appropriate, Equitable, and Accessible Medical Device Design Innovation. In: Pfannstiel MA, Kueh C, Palozzi G, eds. *Service Design, Creativity, and Innovation in Healthcare*. Springer Nature Switzerland; 2024:133-154. doi:10.1007/978-3-031-65766-5_9
21. Constitution of the World Health Organization. Accessed May 28, 2026. <https://www.who.int/about/governance/constitution>
22. Jacobson RE, ed. *Information Design*. MIT Press; 1999.

- 23.** Guidolin K, Jung F, Hunter S, et al. The Influence of Exposure to Nature on Inpatient Hospital Stays: A Scoping Review. *HERD Health Environ Res Des J.* 2024;17(2):360-375. doi:10.1177/19375867231221559
- 24.** insalutenews. Alzheimer: brevettata carrozza ferroviaria virtuale anti-ansia - insalutenews.it. May 11, 2016. Accessed May 28, 2026. <https://www.insalutenews.it/in-salute/alzheimer-brevettata-carrozza-ferroviaria-virtuale-anti-ansia/>
- 25.** Il design come terapia per l'Alzheimer. May 17, 2022. Accessed May 28, 2026. <https://www.frontiere.polimi.it/dettaglio/il-design-come-terapia-per-lalzheimer>
- 26.** Pereno A. Systemic Design for Sustainable Healthcare. Designing for the treatment of chronic diseases. In: Politecnico di Torino; 2017. doi:10.6092/POLITO/PORTO/2686437
- 27.** Zawierucha J, Marcinkowski W, Prystacki T, et al. Green Dialysis: Let Us Talk about Dialysis Fluid. *Kidney Blood Press Res.* 2023;48(1):385-391. doi:10.1159/000530439
- 28.** Environment | Fresenius Medical Care. Accessed May 28, 2026. <https://freseniusmedicalcare.com/en/sustainability/environment/>
- 29.** Ferraresi M, Nazha M, Vigotti FN, et al. Ecodialisi: primi consigli per limitare i danni e ridurre i costi.
- 30.** Cos'è la Digital Health? Vree Health. January 19, 2022. Accessed May 28, 2026. <https://www.vree.it/cose-la-digital-health/>
- 31.** Monza. Al San Gerardo primo progetto italiano di teledialisi domiciliare on line. *Quotidiano Sanità.* November 20, 2025. Accessed May 28, 2026. <https://www.quotidianosanita.it/regioni-e-asl/monza-al-san-gerardo-primo-progetto-italiano-di-teledialisi-domiciliare-on-line/>
- 32.** CARLI G. DIALISI PERITONEALE AUTOMATIZZATA E TELEDIALISI: QUALITÀ DEL TRATTAMENTO ED EVOLUZIONE DELL'ASSISTENZA INFERMIERISTICA. Published online February 25, 2025. Accessed May 28, 2026. <https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/38216>
- 33.** Casuscelli di Tocco T, Lacquaniti A, Ragno C, Sfravara G, Bocca M, Monardo P. Telemedicine and Remote Monitoring in peritoneal dialysis improve clinical outcomes, quality of life and cost efficiency. *G Ital Nefrol Organo Uff Della Soc Ital Nefrol.* 2024;41(6):2024-vol6. doi:10.69097/41-06-2024-09

- 34.** Peritoneal Dialysis - NIDDK. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. Accessed May 29, 2026. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/kidney-disease/kidney-failure/peritoneal-dialysis>
- 35.** CHRONIC PD CATHETER EXITE SITE CARE. <https://ispd.org/media/pdf/Shower.pdf>
- 36.** La Dialisi. Azienda Sanitaria Universitaria Giuliano Isontina. https://asugi.sanita.fvg.it/export/sites/aas1/it/documenti/all_dao/mat_info/nefro_info_dialisi_rev_02.pdf
- 37.** What Is Continuous Cyclic Peritoneal Dialysis (CCPD)? Biology Insights. November 27, 2025. Accessed June 12, 2026. <https://biologyinsights.com/what-is-continuous-cyclic-peritoneal-dialysis-ccpd/>
- 38.** Yu C, Sha P, Jiang Z, et al. Evidence Summary of Personalized Management of Peritoneal Dialysis Volume in Adults. *J Multidiscip Healthc.* 2025;18:2707-2719. doi:10.2147/JMDH.S516563
- 39.** CAPD vs. APD · Nephromeet. Accessed June 12, 2026. <http://www.nephromeet.com/web/procedure/protocollo.cfm?List=WsIdEvento,WsIdRisposta,WsRelease&c1=00090&c2=2>
- 40.** ASST Spedali Civili - Brescia, U.O. Nefrologia, Centro Dialisi Brescia, et al. Vivere in Emodialisi. https://asst-spedalicivili.it/system/files/struttura/files/5982/12190/D0726065-VivereinEmodialisi_784_20700.pdf
- 41.** Larkin J, Ligabue G, Alfano G, et al. Sustainable kidney care: A life cycle assessment of the peritoneal dialysis pathways. *Perit Dial Int J Int Soc Perit Dial.* 2026;46(4):325-334. doi:10.1177/08968608251415439
- 42.** Barraclough KA, Talbot B, Knight J, et al. Carbon Emissions From Different Dialysis Modalities: A Life Cycle Assessment. *Am J Kidney Dis.* 2025;86(4):465-474.e1. doi:10.1053/j.ajkd.2025.04.019
- 43.** Corciulo R, Russo R. IL CYCLER PER APD: POTENZIALITÀ ATTUALI E POSSIBILI SVILUPPI.
- 44.** Nardelli L, Scalamogna A, Alfieri C, Alberici F, Castellano G. Incremental peritoneal dialysis: less is more—for the patient and the planet. *Front Med.* 2025;12:1676396. doi:10.3389/fmed.2025.1676396
- 45.** Maharjan SRS, Davenport A. Comparison of sodium removal in peritoneal dialysis patients treated by continuous ambulatory and automated peritoneal dialysis. *J Nephrol.* 2019;32(6):1011-1019. doi:10.1007/s40620-019-

46. Henderson S. Green/Eco-Dialysis. In: Peritoneal Dialysis in the Modern Era. IntechOpen; 2025. doi:10.5772/intechopen.1009183
47. Larkin J, Ligabue G, Alfano G, et al. A life cycle assessment of peritoneal dialysis procurement in Italy: environmental burden and opportunities for improvement. *J Nephrol.* 2025;38(8):2311-2319. doi:10.1007/s40620-025-02409-z
48. Feeser H. Revolutionizing Pertoneal Dialysis with Fresenius' New Cyclor – Henry Feeser's Peritoneal Dialysis (PD) journey. January 18, 2023. Accessed June 14, 2026. <https://www.feeser.me/2023/01/17/revolutionizing-pertoneal-dialysis-with-fresenius-new-cyclor/>
49. Larkin J, Ligabue G, Morisi N, et al. Comparing environmental footprints of haemodialysis and online haemodiafiltration in Italy. *Int Urol Nephrol.* Published online February 3, 2026. doi:10.1007/s11255-026-05033-3
50. Sehgal AR, Slutzman JE, Huml AM. Sources of Variation in the Carbon Footprint of Hemodialysis Treatment. *J Am Soc Nephrol JASN.* 2022;33(9):1790-1795. doi:10.1681/ASN.2022010086
51. KITNEWCARE - Sustainable Care, Lasting Impact. KitNewCare. Accessed May 28, 2026. <https://kitnewcare.eu/>
52. Sloand JA, Marshall MR, Barnard S, Pendergraft R, Rowland N, Lindo SJ. Peritoneal Dialysis (PD) Patient and Nurse Preferences around Novel and Standard Automated PD Device Features. *Kidney360.* 2024;5(3):380-389. doi:10.34067/KID.0000000000000377
53. Milan Manani S, Virzì GM, Morisi N, et al. Ongoing Peritoneal Dialysis Training at Home Allows for the Improvement of Patients' Empowerment: A Single Center Experience. *J Clin Med.* 2024;13(2):411. doi:10.3390/jcm13020411
54. Preparing Your Home for Home Dialysis. Accessed June 24, 2026. <https://www.freseniuskidneycare.com/treatment/home-dialysis/getting-prepared>
55. Travel Club. Accessed June 24, 2026. <https://ca.mykidneyjourney.com/live-well/traveling-dialysis/travel-club>
56. Vantive Automated Peritoneal Dialysis Machines and Solutions | Vantive for Healthcare Professionals – Kidney care and beyond. Accessed June 30, 2026. <https://pro.vantive.com/products/peritoneal-dialysis-products-promote-patient-freedom>

57. Yan S, Zhu X, Huo Z, Wang Z, Cui H. Psychological Intervention for Depression and Anxiety in Hemodialysis Patients: A Meta-Analysis. *Actas Esp Psiquiatr*. 2025;53(1):154-164. doi:10.62641/aep.v53i1.1628
58. Chen S, Wang Y, Feng S, et al. Anxiety as a mediator between symptom distress and quality of life in peritoneal dialysis patients: insights from mediation analysis and nonlinear models. *Ren Fail*. 2025;47(1):2458763. doi:10.1080/0886022X.2025.2458763
59. Aw MY, Henderson S, Chan YH, et al. Effectiveness of mindfulness-based interventions delivered via technology versus therapist among patients on peritoneal dialysis at an outpatient clinic in Singapore. *Int J Nurs Pract*. 2024;30(2):e13233. doi:10.1111/ijn.13233
60. PATIENT SAFETY - HIGHLIGHTS OF 2023.
61. Aspelund A, Valkonen P, Viitanen J, Rauta V. Designing for Improved Patient Experiences in Home Dialysis: Usability and User Experience Findings From User-Based Evaluation Study With Patients With Chronic Conditions. *JMIR Hum Factors*. 2024;11:e53691. doi:10.2196/53691
62. Manera KE, Johnson DW, Craig JC, et al. Establishing a Core Outcome Set for Peritoneal Dialysis: Report of the SONG-PD (Standardized Outcomes in Nephrology-Peritoneal Dialysis) Consensus Workshop. *Am J Kidney Dis* Off J Natl Kidney Found. 2020;75(3):404-412. doi:10.1053/j.ajkd.2019.09.017
63. Fernández Labadía E, Masot O, Tejero Vidal LL, Botigué T, Bielsa-Gracia S. Educational interventions and identification of risk factors to prevent and reduce peritonitis in peritoneal dialysis: A scoping review. *J Ren Care*. 2024;50(3):307-318. doi:10.1111/jorc.12490
64. Yekinni IO, Viker T, Hunter R, et al. Design and proof-of-concept evaluation of a touchless connector system for preventing peritoneal dialysis-associated peritonitis. *BMJ Innov*. 2022;8(2):98-104. doi:10.1136/bmjinnov-2021-000845
65. Li PKT, Chow KM, Cho Y, et al. ISPD peritonitis guideline recommendations: 2022 update on prevention and treatment. *Perit Dial Int J Int Soc Perit Dial*. 2022;42(2):110-153. doi:10.1177/08968608221080586
66. Emaliyawati E, Ibrahim K, Kurniawan T, Fitria N, Songwathana P. Gamification-Based Interventions in Chronic Disease Care: A Systematic Review of Randomised Controlled Trials. *Risk Manag Healthc Policy*. 2025;18:3921-3936. doi:10.2147/RMHP.S573596
67. Making the Most of Your Square Footage for Dialysis. *Home Dialysis*

Central. Accessed June 24, 2026. <https://homedialysis.org>

68. SONG-PD - Cerca con Google. Accessed June 24, 2026. <https://songinitiative.org/projects/song-pd/>

69. Knowles SR, Ski CF, Langham R, et al. Design and protocol for the Dialysis Optimal Health Program (DOHP) randomised controlled trial. *Trials*. 2016;17(1):447. doi:10.1186/s13063-016-1558-z

70. Simergent — Archimedes. Simergent. Accessed June 29, 2026. <https://www.simergent.com/archimedes>

71. Pruitt ZM, Bocknek LS, Busog DNC, et al. Informing Healthcare Alarm Design and Use: A Human Factors Cross-Industry Perspective. *PATIENT Saf*. 2023;5(1). doi:10.33940/med/2023.3.1

72. APD. Fresenius Medical Care. Accessed June 30, 2026. <https://freseniusmedicalcare.com/en/healthcare-professionals/home-therapies/peritoneal-dialysis/peritoneal-dialysis-apd/>

73. La barcelonina GooApps crea un videojoc per acompanyar pacients de diàlisi. *ON ECONOMIA*. June 29, 2026. Accessed June 29, 2026. https://www.elnacional.cat/oneconomia/ca/la-dada/gooapps-crea-videojoc-acompanyar-pacients-dialisi_1661252_102.html

74. Glasgow Clinician's Lockdown Gaming Inspires Virtual Reality Dialysis Support | Glasgow City Of Science & Innovation. June 2, 2026. Accessed June 29, 2026. <https://glasgowcityofscienceandinnovation.com/glasgow-clinicians-lockdown-gaming-inspires-virtual-reality-dialysis-support/>

75. stay•safe MyTraining VR su Meta Quest. Meta. Accessed July 2, 2026. <https://www.meta.com/it-it/experiences/staysafe-mytraining-vr/7397073143656572/>

76. Fresenius Medical Care. stay•safe® CAPD System. <https://freseniusmedicalcare.com/en-us/products/home-dialysis-equipment/stay-safe-overview/>

77. How Fresenius Medical Care created a sustainable solution for dialysis treatment packaging. Accessed June 24, 2026. <https://freseniusmedicalcare.com/en-us/insights/articles/mircera-take-back-program/>

78. Gupta N. Peritoneal Dialysis and Sustainability: Leveraging Low-Resource Models for Environmental Impact. *Kidney News*. 2025;17(5):19-19. doi:10.62716/kn.000472025

79. Baxter Starts U.S. Clinical Trial for on-Demand Peritoneal Dialysis Solution System. Accessed June 29, 2026. <https://investor.baxter.com/investors/events-and-news/news/press-release-details/2019/Baxter-Starts-US-Clinical-Trial-for-on-Demand-Peritoneal-Dialysis-Solution-System/default.aspx>

80. Home - Project Cordial. Accessed June 29, 2026. <https://www.projectcordial.eu/>

81. Il progetto europeo WEAKID (Wearable Kidney), sostenuto da Horizon Europe e sviluppato in collaborazione tra istituzioni come la Vrije Universiteit Amsterdam e aziende come B. Braun e Baxter, - Cerca con Google. Accessed June 29, 2026. <https://cordis.europa.eu/article/id/411692-improved-dialysis-technology-could-facilitate-home-treatment/it>

82. Dialysis Machine UX: The Interface Gap Costing Providers. Accessed June 29, 2026. <https://creative.navy/blog/dialysis-machine-ux-what-the-interface-gap-is-costing-your-organisation/>