

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'AQUILA

Corso: Impianti biochimici industriali e ambientali – Seconda Lezione

Titolo : Impianti di depurazione a doppio stadio biologico : Percolatori seguiti da sistema a fanghi attivi.

Premessa

Nella ristrutturazione di vecchi impianti di depurazione , dotati di letti percolatori con riempimento tradizionale, spesso tale tecnologia è stata del tutto abbandonata, con la demolizione di tali vecchi manufatti sostituiti da più usuali reattori a fanghi attivi. Nel seguito, verranno esposte alcune esperienze professionali, nelle quali, invece , i “vecchi” letti percolatori sono stati integrati nel processo di depurazione, ottenendo una serie di notevoli vantaggi.

a) Lavorazione latte “Torre in Pietra”

Negli anni 80' la Torre in Pietra aveva due stabilimenti per la lavorazione del latte , ubicati sulla SS. Aurelia in località Torre in Pietra. Tali due stabilimenti effettuavano, pressappoco, le stesse lavorazioni che consistevano nella pastorizzazione del latte da consumarsi fresco, produzione di latte a lunga conservazione, latte al cacao e budini al latte.

Ambedue gli stabilimenti di cui sopra erano dotati di impianti di depurazione costituiti da vasca d'accumulo e sollevamento, seguiti da vasca Imhoff, percolatori, sedimentatore secondario e clorazione.

Nel seguito ci si riferirà ad uno solo dei due impianti e, precisamente, quello dello stabilimento Falconieri. Le dimensioni delle unità disponibili per tale unità di trattamento erano le seguenti:

- a) Vasca d'accumulo interrata, nella quale era direttamente installata anche la pompa di sollevamento. Capacità massima : 250 mc;
- b) Vasca Imhoff; comparto di sedimentazione : 16 mc; comparto di digestione : 120 mc;
- c) Letto percolatore; Volume 143 mc, altezza : 3,0 mt;
- d) Sedimentazione secondaria; suddivisa su due piccole unità a pianta circolare. Volume complessivo 50 mc; superficie complessiva: 25;
- e) Clorazione.

I reflui erano costituiti da acque di lavaggio impianti e auto-cisterne che conferivano il latte fresco allo stabilimento. Tali acque risultavano inquinate per BOD5 dovuto essenzialmente a perdite di latte e, in qualche caso, ai prodotti usati per il lavaggio impianti (acido nitrico) .

Per inciso, si rileva che la situazione è molto diversa da quella degli stabilimenti caseari (formaggi, mozzarelle, etc) per i quali una parte del latte , il siero, ove non riutilizzato integralmente (e purtroppo il riutilizzo non è mai integrale) forma parte integrante dei reflui liquidi di lavorazione.

La portata media era di 450 mc al giorno, nei normali giorni di lavorazione, ossia per cinque giorni alla settimana. Il carico organico , espresso come BOD5 , integrando la portata per la relativa concentrazione, corrispondeva a circa 160 kg/g , corrispondente ad una concentrazione media di 355 ppm.

Dalle prime analisi effettuate sui reflui in uscita, risultava che il processo biologico di abbattimento delle sostanze organiche (letto percolatore) non ostante il forte carico organico (oltre 1.0 kg di BOD5 al giorno per mc di riempimento) per era sufficiente a raggiungere i limiti di legge, ma la funzionalità dell'impianto era compromessa dal trascinarsi dei solidi sullo sfioro di gronda delle due piccole unità di sedimentazione secondaria. Inoltre, nella vasca d'accumulo tendevano a flottare particelle di grasso (burro) che assumevano il tipico aspetto di numerose sfere del diametro di qualche centimetro galleggianti sulla superficie liquida. L'impianto, però, non era dotato di un razionale sistema di rimozione dei grassi e, pertanto, tutte le sostanze flottate o erano fermate dalla vasca Imhoff o raggiungevano il percolatore, dove venivano degradate per via biologica.

Per migliorare l'efficienza del sistema, pertanto, erano state individuati i seguenti due interventi:

- a) Insufflazione di aria a bolle fini nella vasca d'accumulo, in modo da favorire la flottazione dei grassi che venivano poi allontanati tramite un apposito skimmer galleggiante;
- b) Costruzione di nuove vasche di sedimentazione secondaria di maggiore potenzialità, destinando quelle esistenti ad accumulo ed ispessimento fanghi.

Tali interventi sono stati realizzati e l'impianto ha ripreso a funzionare nella nuova configurazione.

Tuttavia ci si è subito resi conto che, nella vasca d'accumulo, dove i reflui sostavano circa 12 ore, a seguito dell'insufflazione di aria a bolle fini, si formava rapidamente una colonia batterica sospesa che, almeno apparentemente, aveva lo stesso tipico aspetto dei fanghi attivi. Le verifiche effettuate confermarono che si trattava proprio di fanghi attivi. Probabilmente il fenomeno era dovuto a due circostanze favorevoli: abbondante presenza di lattosio (facilmente biodegradabile) temperatura costante sopra i 22-23°C.

Si è quindi deciso di sfruttare tale rapida biodegradabilità dei reflui, trasformando la vasca d'accumulo in un vero e proprio pretrattamento biologico dei liquami, adottando i seguenti criteri:

- a) Venne costruita una nuova stazione di sollevamento di testa, in modo da separare la funzione di accumulo da quella di sollevamento e poter mantenere la ex-vasca d'accumulo sempre piena. Operando in questo modo si perdeva la funzione della laminazione della portata ma, al tempo stesso, si migliorava quella della omogeneizzazione, che richiede volumi di reflu accumulato cui miscelare i nuovi reflui in arrivo;
- b) La ex vasca di accumulo e omogeneizzazione venne divisa in più comparti mediante la costruzione di una serie di setti e, precisamente:
 - Sgrassatura : 35 mc;
 - Denitrificazione : 35 mc;
 - Ossidazione : 120 mc;
 - Sedimentazione secondaria: 48 mc;
 - Sollevamento al vecchio impianto, Imhoff e percolatori.

La denitrificazione si rendeva necessaria, non perché si formassero nitrati nel processo di depurazione biologica (come per un tradizionale impianto di trattamento reflui civili) , ma per la presenza di nitrati dovuta ai periodici lavaggi con acido nitrico.

Il processo di trattamento ha così assunto la configurazione di un doppio stadio biologico “atipico”, con un primo stadio a fanghi attivi seguito dal secondo stadio a letto percolatore. In genere, invece, gli impianti a doppio stadio biologico presentano il primo a colture adese ed il secondo a colture sospese. Quanto sopra per una serie di motivi :

1. La perdita di efficienza con l'aumentare del carico organico è molto più ridotta per i letti percolatori che per gli impianti a fanghi attivi: con un carico organico di circa 0.2 kg di BOD5 per mc l'abbattimento del BOD5 è superiore al 90% e rimane, comunque, del 70% per carichi organici fino a 1.0 kg di BOD5 per mc di riempimento;
2. Gli impianti a letti percolatori sono più resistenti a shock di carico organico, variazioni di pH o altro, rispetto agli impianti a fanghi attivi;
3. Per i percolatori il processo di nitrificazione richiederebbe volumetrie molto elevate.

Le condizioni di funzionamento del primo stadio biologico erano quelle di un reattore ad alto carico organico : circa 0.44 kg/ g di BOD5 per kg di MLSS. Ma , ciò non ostante, l'impianto funzionava molto bene, tanto che già all'uscita dal primo stadio il BOD5 era entro i limiti di legge all'epoca vigenti : 40 ppm. In particolare, il fango attivo aveva ottime caratteristiche di sedimentabilità e, in cono Imhoff, lasciava un surnatante molto limpido. Il limite del primo stadio biologico , semmai, era costituito dalla scarsa funzionalità del relativo sedimentatore secondario, con il conseguente trascinarsi di fiocchi di fango che, poi, venivano eliminati nel secondo stadio biologico.

Qualche anno dopo il completamento di tale intervento, anche a seguito dell'aumento della produzione dello stabilimento, fu deciso un ulteriore potenziamento anche dell'impianto di depurazione. Al progettista apparve che il potenziare il primo stadio biologico a fanghi attivi, in modo da dimezzare il carico organico: da 0.44 kg/ g di BOD5 per kg di MLSS ad un più usuale carico 0.22 Kg/g di BOD5, fosse una scelta ovvia e di assoluta sicurezza.

Terminati i lavori ed avviato il nuovo impianto, dopo soli due giorni si era formata una colonia batterica con ottime caratteristiche di sedimentabilità, che lasciava un surnatante molto limpido. Il volume del fango al cono Imhoff dopo i “rituali” 30 primi era di circa 200cc. Già al terzo giorno il volume del fango si portava rapidamente a 300 cc, ma il fango cominciava a perdere quelle caratteristiche di buona sedimentabilità che si erano evidenziate nei primi due giorni . Ma le vere sorprese sono venute nei giorni successivi. Il quarto giorno il volume del fango aumentava anche fino a 400 cc, ma l'aspetto del fango era pessimo: sedimentava molto male (o non sedimentava affatto) e lasciava un surnatante molto torbido di colore grigio. Il quinto giorno lo stadio a fanghi attivi era completamente in “tilt” : il fango attivo assumeva una colorazione grigiastra, non sedimentava affatto, e sfiorava abbondantemente nella canaletta di gronda del sedimentatore secondario del primo stadio biologico.

Il fenomeno è stato osservato per molte settimane , ed aveva un andamento periodico settimanale molto regolare , tanto che si poteva dire esattamente quali sarebbero state le condizioni dell'impianto per ogni giorno della settimana: Buone il lunedì (prima formazione della colonia batterica) ; ottime il martedì ed il mercoledì (volume del fango al cono Imhoff sotto i 400 cc) , cattive il giovedì e pessime il venerdì . Nel giorno di sabato l'impianto era di nuovo completamente privo di fanghi ed il ciclo ripartiva.

Sono state svolte ricerche bibliografiche, ma nessun dato di letteratura riusciva interpretare lo strano fenomeno cui si assisteva. Dopo vari tentativi d'interpretazione (insufficienza dei nutrienti, variazioni del pH, possibili lavaggi periodici degli impianti con sostanze tossiche, etc) il problema fu risolto sulla base di questa semplice osservazione:

Era evidente che l'impianto funzionava ottimamente con volumi di fango al cono Imhoff sotto i 200 cc, e andava completamente in tilt con volumi di fango sopra i 400 cc, in altri termini: Il reattore biologico funzionava bene solo ad alto carico (come sono tutti gli impianti in fase d'avvio) e andava completamente in "tilt" quando la naturale crescita della colonia batterica, molto rapida, faceva il modo che si trasformasse nel giro di 24-48 ore da alto carico a carico medio-basso. Per altro, dalla letteratura era noto che a carichi molto bassi (inferiori a 0.08-0.1 kg di BOD5 al giorno per kg di MLSS) l'impianto avrebbe dovuto funzionare nuovamente molto bene

Probabilmente, la spiegazione era da cercarsi nella particolare miscela delle varie componenti del latte: Ad alto carico, veniva utilizzato solo il substrato disciolto (il lattosio) ed il reattore biologico a fanghi attivi funzionava molto bene. Ma carico medio-basso, quando iniziava ad essere utilizzato anche substrato meno facilmente biodegradabile, una probabile competizione fra diverse specie batteriche metteva in crisi il reattore biologico. Qualsiasi fosse la corretta interpretazione del fenomeno dal punto di vista biochimico, la soluzione che veniva suggerita dalle osservazioni di cui sopra era la seguente:

Se si fosse fatto funzionare il letto percolatore come primo stadio biologico a forte carico, il successivo reattore a fanghi attivi avrebbe funzionato a carichi bassissimi, ed era noto dalla letteratura che a carichi molto bassi il reattore biologico a fanghi attivi avrebbe dovuto funzionare correttamente. Per altro, non occorre che nel primo stadio biologico il letto percolatore fosse necessariamente seguito dalla sedimentazione secondaria, al contrario, le particelle di pellicola batterica di spoglio dal letto percolatore avrebbero favorito l'innescò e la crescita batterica dei fanghi attivi nel secondo stadio biologico.

Fu così invertito il circuito idraulico dell'impianto di depurazione, in modo da far funzionare il letto percolatore come primo stadio biologico e il reattore a fanghi attivi come secondo stadio, e l'impianto ha immediatamente dato ottimi risultati sia come resa di abbattimento delle sostanze organiche sia come stabilità complessiva del sistema.

b) Considerazioni generali sui sistemi a doppio stadio biologico

Quello della stabilità di rendimento è uno dei pregi più evidenti di un sistema a doppio stadio biologico, dei quali, il primo, a letti percolatori ed il secondo a fanghi attivi. E' noto che la principale vulnerabilità del reattore a fanghi attivi è dovuta alla perdita di sedimentabilità dei fanghi, con sfioro di fango nell'effluente depurato e drastica perdita di efficienza di tutto il sistema. Un reattore a colture adese, quale il letto percolatore, non presenta tali problematiche. Inoltre, a forti variazioni del carico organico (da 0.2 a 1.0 kg di BOD5 per mc di riempimento) corrispondono variazioni di resa nell'abbattimento del BOD5 piuttosto contenute, pressappoco, rispettivamente: dal 90% al 70%. Questo significa che la variabilità di carico in ingresso al sistema viene "tamponata" quasi del tutto dal primo stadio a colture adese (che non ha problemi di sedimentabilità dei fanghi) lasciando un carico molto poco variabile sul secondo stadio a fanghi attivi. Fortissimi sono i vantaggi anche dal punto di vista energetico, perché gran parte del carico organico viene demolito dal primo stadio, con bassissimo dispendio di energia: occorre solo quella per portare in quota il refluo da trattare, per compensare la perdita di energia potenziale che si determina nell'attraversamento del mezzo di riempimento del letto percolatore.

Per inciso: Quello del consumo energetico per metro cubo di acqua trattata è un tema che dovrebbe essere affrontato razionalmente, se si vuol combattere il problema dell'inquinamento in modo globale, senza privilegiare un risultato parziale che, però, può obbligare a soluzioni non ottimali da un punto di vista più generale

L'inconveniente principale che presenta un letto percolatore, specialmente se funzionante ad alto carico, è quello della possibilità d'intasamento; problema che, tuttavia, non sussiste quando il mezzo di riempimento è costituito da speciali supporti plastici (in verità piuttosto costosi) con indice dei vuoti circa 95% contro il 50% dei materiali tradizionali (ghiaia, con pezzatura di 7-8 cm). Ma anche per i letti dotati di riempimento tradizionale il problema non è così grave.

Occorre disporre di un ottima sistema di grigliatura di testa (sempre consigliabile), di una sedimentazione primaria (se possibile) e intervenire non appena si notano "pozzanghere" sulla superficie del letto percolatore, mediante forti flussaggi con acqua depurata riciclata, con aggiunta di ipoclorito o diserbanti nei casi peggiori.

Se però il letto è stato per lungo tempo in abbandono, tutto questo non è più sufficiente e occorre provvedere alla rimozione meccanica del materiale organico misto a terriccio che intasa il letto, mediante una energica movimentazione degli inerti (effettuata in genere con mini escavatore che opera direttamente all'interno del percolatore) che provoca lo sfregamento reciproco degli inerti, accompagnata da forti getti di acqua in pressione.

Si tratta di operazione alquanto complesse e costose ma che, tuttavia, hanno consentito la ripresa della piena funzionalità di letti percolatori tenuti in abbandono per diversi anni, sulla superficie dei quali era anche attecchita una rigogliosa vegetazione spontanea.

Altro problema che può verificarsi a volte, in particolari condizioni climatiche, è quello dell'insufficienza della quantità di aria che circola nel masso drenante. Si tratta di un evento alquanto raro, ma che può verificarsi e durare anche qualche giorno. Infatti, occorre considerare che il letto percolatore deve funzionare come un camino nel quale devono circolare sia acqua che aria.

L'acqua circola sempre nello stesso verso: dall'alto verso il basso. L'aria, invece, circola dal basso verso l'alto nel periodo invernale, quando il masso drenante è più caldo dell'atmosfera esterna, e dall'alto verso il basso nella stagione estiva quando, anche per effetto del calore di evaporazione, il masso drenante è più freddo dell'atmosfera esterna. Inoltre, occorre considerare che la percolazione dell'acqua dall'alto verso il basso, specie se molto abbondante (percolatori ad alto carico) tende sempre a trascinare nella stessa direzione l'atmosfera gassosa presente nel masso drenante. Questo effetto di "pompaggio" dell'aria si somma a quello di "camino discendente" nella stagione estiva, ma ostacola la circolazione dell'aria nella stagione invernale. E' chiaro che, in particolari condizioni atmosferiche e di carico idraulico la somma dei due effetti contrastanti può determinare una sostanziale immobilità dell'aria presente nel masso drenante, con drastica perdita di efficienza del letto percolatore. Si tratta di un fenomeno piuttosto raro che, comunque, non ha effetti drammatici sull'efficienza complessiva del sistema, se il primo stadio a percolatori è seguito da un secondo stadio a fanghi attivi.

Infine va ricordato che un letto percolatore favorisce sempre lo scambio di calore fra acqua ed aria e tale scambio può essere controproducente per il processo biochimico in caso di clima molto rigido, come per gli impianti di montagna nel periodo invernale.

c) L'impianto di depurazione di Cerenova a servizio del Comune di Cerveteri

Il nucleo iniziale dell'impianto depurazione di Cerenova (a servizio di una lottizzazione privata nel territorio comunale di Cerveteri) era costituito dai pretrattamenti (grigliatura e dissabbiatore a pista) e da un'unica vasca interrata, chiusa superiormente, nella quale erano ricavati un comparto di ossidazione a fanghi attivi e due comparti di sedimentazione secondaria. Le dimensioni in pianta della vasca erano di 33.0 m di lunghezza per 20.0 m di larghezza, con un battente idraulico di 2.5 mt. Il settore centrale (33.0 x 15.0 mq) era adibito ad ossidazione a fanghi attivi e i due settori laterali, ciascuno per una larghezza di 2.5 mt, a sedimentazione secondaria. La sedimentazione secondaria era, quindi, costituita da due vasche rettangolari ciascuna avente una lunghezza di 33.0 mt per una larghezza di 2.5 mt.

In queste condizioni, era molto difficile che il sedimentatore secondario potesse effettivamente svolgere la propria funzione, perché più che di due vasche di sedimentazione si trattava di due grossi canali laterali nei quali il fluido in transito conservava sempre velocità troppo alte perché i fanghi potessero sedimentare.

Apparve, quindi, evidente la necessità di potenziare la funzione di sedimentazione secondaria e la soluzione prescelta fu quella di costruire una vasca Imhoff, fuori terra, molto più alta della vasca interrata a fanghi attivi, alla quale la miscela aerata doveva essere sollevata mediante apposita stazione di pompaggio. Anche questa soluzione, comunque, presentava diverse problematiche e perciò, in occasione di un progetto di potenziamento dell'impianto (al quale furono avviati tutti i reflui del territorio comunale e non solo quelli della lottizzazione Cerenova) si decise sfruttare la Imhoff come sedimentazione primaria e l'energia di potenziale del liquame sollevato ad una discreta altezza fuori terra, mediante l'inserimento di letti percolatori. La configurazione finale dell'impianto, dopo tale intervento, è quella di cui alla tavola allegata.

Linea liquami proveniente da Cerveteri Capoluogo

- 1) Sollevamento di testa;
- 2) Grigliatura;
- 3) Sedimentazione primaria in vasca Imhoff (N° 2 per 200 mc);
- 4) Ossidazione biologica su letti percolatori (N°3 per 950 mc);
- 5) Sedimentazione secondaria primo stadio biologico (N°2, circolari 18 mt di diametro);
- 6) Ossidazione e nitrificazione in vasca a fanghi attivi (N°1 per 1600 mc);
- 7) Sedimentazione secondaria secondo stadio (N° 2; circolari 18 mt di diametro);
- 8) Clorazione e sollevamento alla vasca di contatto;
- 9) Vasca di contatto di lunga permanenza (ex lagunaggio)
- 10) Sollevamento allo scarico.

Linea Fanghi

- 1) Pompaggio alle Imhoff;
- 2) Ispessimento statico;
- 3) Disidratazione mediante nastro pressa

I carichi in ingresso all'impianto erano i seguenti :

- Periodo invernale: portata trattata circa 3.000 mc/g, ascrivibile ad una popolazione di circa 12-13.000 A.-E.;
- Periodo estivo (luglio ed agosto) portata 10.000 mc/g., per una popolazione servita che viene stimata in 50.000 A.E.

I tempi di ritenzione in sedimentazione primaria erano :

- 3 ore , alla portata media nel periodo invernale (abbattimento BOD5 stimabile : circa 25%);
- 1.0 ora , alla portata media nel periodo estivo. (abbattimento BOD5 stimabile : circa 10%)

In queste condizioni i percolatori sono stati sottoposti ai seguenti carichi :

- 585 kg/g, pari a 0.20 kg/g per mc di riempimento, in inverno;
- 2.700 kg/g, pari a circa 1.0 kg/g per mc di riempimento, in estate.

I rendimenti ottenuti sono stati i seguenti :

- Periodo invernale: abbattimento del BOD5 entro i limiti di legge e parziale nitrificazione dell'ammoniaca, che spesso rientrava sotto i 15 ppm di azoto ammoniacale;
- Periodo estivo : abbattimento del BOD5 superiore al 70 -80 %, nessuna nitrificazione dell'ammoniaca.

Si consideri che il riempimento dei letti era di tipo tradizionale, ghiaia calcarea, di pezzatura non sempre ottimale e , ciò non ostante, i percolatori stanno ancora dando ottimi rendimenti dopo oltre 20 anni di esercizio, tanto che ACEA ATO2 (che ha preso in consegna gli impianti dell'inizio del 2008) che ha realizzato una serie d'interventi di manutenzione straordinaria e miglioramento, non ha ritenuto di cambiare il riempimento dei letti.

Occorre ancora aggiungere che i fanghi che si formavano nel secondo stadio a fanghi attivi, sono sempre stati caratterizzati da ottime caratteristiche di sedimentabilità, tanto che non si è mai verificato un fenomeno di "*bulking*", neanche quando la successiva fase di ossidazione è rimasta per lunghi mesi (probabilmente anni) in forte deficit di ossigeno per avarie delle macchine e vicende connesse ai contrasti fra ditta di gestione e il Comune.

Infine, va segnalato che il reattore a fanghi attivi non era dotato di comparto di denitrificazione , per cui , a causa di una non sempre accorta gestione, in alcuni casi si sono registrati valori dei nitrati in uscita superiori a 25 ppm, durante la stagione estiva, senza che si verificasse mai il fenomeno del "*rising*". Per tenere sotto controllo i nitrati è stato sufficiente effettuare alcune pause dell'ossidazione (fasi di anossia) nel corso della giornata.

Al contrario, in un tradizionale impianto a fanghi attivi, alle temperature estive, concentrazioni di azoto nitrico in uscita appena superiori ai 12-15 ppm sono sufficienti a far esplodere il fenomeno del *rising*.

d) L'impianto di depurazione dello stabilimento "Plasmon" di Latina

I due esempi sopra riportati riguardano casi in cui la scelta del processo biologico di depurazione a doppio stadio non è stata una scelta "libera" del progettista ma, almeno in parte, determinata dalle circostanze in atto. Si vuole pertanto riferire brevemente di un terzo caso, nel quale, invece, la scelta del doppio stadio biologico (percolatori seguiti da fanghi attivi) è stata una scelta effettuata fin dalla fase della progettazione originaria.

Nel caso in oggetto i reflui da trattare erano caratterizzati da una forte concentrazione di sostanze carboniose facilmente biodegradabili, con concentrazione fortemente variabile nelle 24 ore. Questa situazione aveva creato qualche problema di corretta funzionalità al vecchio impianto di depurazione del tipo tradizionale fanghi attivi. Si decise così di destinare il vecchio impianto a vasca di accumulo e stabilizzazione aerobica dei fanghi, e di realizzare ex-novo una nuova linea liquami.

I carichi in ingresso erano i seguenti :

- Portata : 2.400 mc/g;
- COD : 3.000 kg/g;
- BOD5: 1.780 kg/g

A valle dei pretrattamenti e dell'accumulo le nuove linee di processo consistevano in :

- 1) N°2 letti percolatori con riempimento plastico; volume complessivo : 1.200 mc;
- 2) N°1 sedimentatore secondario primo stadio biologico, diametro 11.0 mt;
- 3) N°1 reattore biologico a fanghi attivi, con insufflazione di aria a bolle fini, volume complessivo : 1800 mc;
- 4) N°2 sedimentatori secondari secondo stadio biologico , ciascuno da 11.0 mt di diametro;
- 5) Vasca di Clorazione.

IL carico sui letti percolatori era quindi di circa 1.5 kg di BOD5 per mc di riempimento, ed i rendimenti sono stati sempre superiori a quelli previsti, tanto che il secondo stadio ha assunto , più che altro, la funzione di soccorso in caso di emergenze, con forti risparmi sui consumi energetici previsti.