

## REGOLAZIONE DELL'OSSIGENAZIONE NELLE VASCHE DI IMPIANTI DI DEPURAZIONE BIOLOGICA.

Negli impianti di depurazione biologica è importante regolare adeguatamente l'immissione di ossigeno, in quanto un'ossigenazione insufficiente pregiudica il risultato della depurazione, mentre un'ossigenazione eccessiva comporta costi non indifferenti di energia per le turbine o altri dispositivi di aerazione. Il rendimento di un impianto dipende largamente dal mantenimento di una concentrazione di ossigeno ottimale e perciò l'ottimizzazione dell'ossigenazione e la conseguente ottimizzazione del rendimento consentono spesso di aumentare la portata dell'impianto stesso.

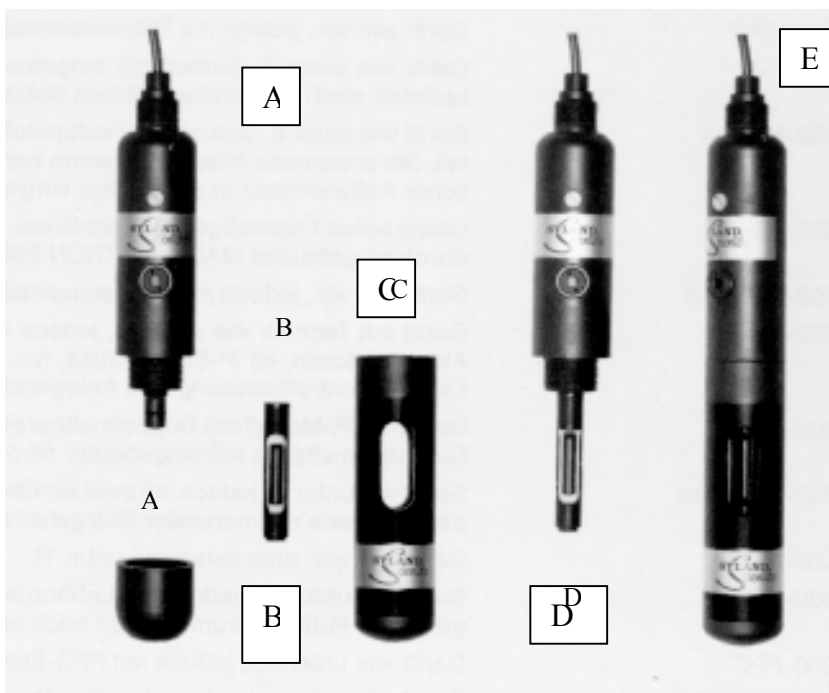
Per poter regolare l'immissione di ossigeno è necessario prima di tutto conoscere esattamente la quantità di ossigeno presente nell'acqua. Lo stato dell'arte prevede la misurazione della concentrazione di ossigeno mediante sonde polarografiche. La maggior parte degli strumenti in commercio elabora un segnale proveniente da un cosiddetto elettrodo "passivo" (con catodo d'oro e anodo d'argento), alimentato con una "corrente di polarizzazione" di circa 800 mV. In presenza di ossigeno tale corrente ausiliaria subisce una variazione proporzionale alla concentrazione dell'ossigeno. Questo sistema presenta diversi svantaggi. Esso richiede ad esempio la taratura dell'elettrodo in due punti, e precisamente in assenza di ossigeno (taratura dello zero) e in presenza di una quantità nota di ossigeno. La taratura può essere effettuata con diversi sistemi, manuali o automatici, ma è sempre aleatoria per il punto zero e la sua eventuale stabilizzazione elettronica. Detti svantaggi possono essere evitati impiegando un elettrodo "attivo" (con catodo d'argento e anodo di piombo), che non ha bisogno di alcuna corrente ausiliaria. Infatti, esso funziona come una pila, che genera corrente in presenza di ossigeno. In assenza di ossigeno l'elettrodo non può generare corrente, per cui non ha bisogno di alcuna taratura dello zero. La corrente generata dall'elettrodo attivo è direttamente proporzionale alla concentrazione di ossigeno. La taratura si riduce quindi ad un solo punto e, per alcuni strumenti del commercio, può essere effettuata in aria, con la massima semplicità. Inoltre un elettrodo attivo richiede meno manutenzione di un elettrodo passivo. Per contro, in presenza di determinate sostanze inquinanti, come ad esempio elevate quantità di anidride carbonica



gassosa o di solfuri, l'elettrodo attivo ha una vita minore dell'elettrodo passivo, il cui impiego risulta pertanto giustificato soprattutto in casi del genere, che peraltro sono piuttosto rari. Poiché la corrente generata da un elettrodo attivo è molto debole, il suo impiego richiede strumenti di concezione moderna, dotati di un'elettronica sofisticata e affidabile. Lo strumento illustrato qui a fianco, studiato per un impiego sul campo, è inoltre particolarmente robusto ed è dotato di una maniglia per il trasporto, di un dorso avvolgicavo in grado di accogliere 10 o più metri di cavo e di una pinza portaelettrodo, che ne rendono estremamente pratico l'impiego.

Quasi tutti gli elettrodi in commercio sono dotati di una membrana semipermeabile, che lascia passare l'ossigeno e altri gas, ma non le sostanze inquinanti presenti nell'acqua. Gli elettrodi da impiegare dovrebbero avere una risposta pronta. La velocità di risposta dipende dalle caratteristiche dell'elettrodo, che ne determinano l'inerzia, e dalla velocità con la quale l'ossigeno contenuto nell'acqua si diffonde attraverso la membrana. Poiché

gli elettrodi del commercio hanno velocità di risposta diverse è opportuno confrontare quanto indicato dai fornitori degli strumenti prima di procedere alla scelta. Sia gli elettrodi passivi che quelli attivi “consumano” l’ossigeno con cui vengono a contatto. Perciò per ottenere una misura corretta, l’acqua a contatto con l’elettrodo deve venire rinnovata tanto più velocemente quanto più veloce è la risposta dell’elettrodo stesso. Se la misurazione viene effettuata in punti dell’impianto dove il movimento dell’acqua è molto forte, si presume di poter soddisfare questa condizione senza dover ricorrere ad un apposito agitatore. In pratica le cose non sono tanto semplici. E’ sufficiente rilevare la concentrazione di ossigeno mediante un registratore per rendersi conto che, anche se l’acqua è in forte movimento, la misura non è stabile, ma ha continue oscillazioni. Le variazioni percentuali della misura non sono tanto elevate da pregiudicare una rilevazione sufficientemente precisa dell’ossigeno agli effetti della gestione dell’impianto, ma la situazione cambia decisamente se si desidera asservire una turbina o un altro dispositivo di aerazione all’analizzatore di ossigeno. In tal caso le oscillazioni del valore di ossigeno rilevato disturbano notevolmente l’automatismo. Questo problema può essere risolto mediante un apposito teleagitatore, che consiste di una paletta magnetica oscillante avvitata direttamente sull’elettrodo, di un generatore di impulsi elettromagnetici alternati e di un apposito portaelettrodo che trasmette detti impulsi alla paletta. Rilevando la concentrazione di ossigeno mediante un registratore si può notare che quasi sempre è sufficiente mettere in funzione il teleagitatore per stabilizzare immediatamente il valore registrato, rendendolo adatto a governare direttamente (senza dover passare per un computer) l’aerazione della vasca. Infine, la concentrazione dell’ossigeno disciolto nell’acqua dipende anche dalla pressione, e quindi dalla profondità. Perciò un buon elettrodo dovrebbe essere dotato anche di una compensazione automatica della pressione.

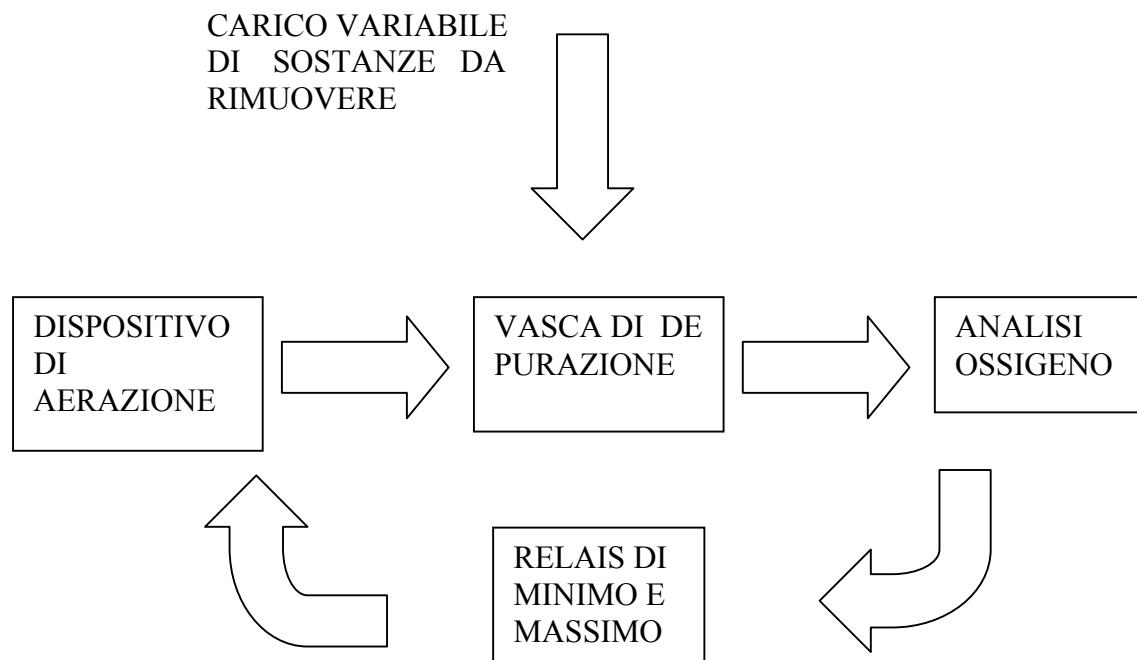


Nella figura è illustrato un elettrodo industriale composto come segue :

- A = Elettrodo con cappuccio di protezione avvitato e svitato
- B = Paletta oscillante (agitatore) con supporto
- C = Teleagitatore a doppia bobina
- D = Elettrodo con paletta oscillante avvitata
- E = Elettrodo con paletta oscillante e teleagitatore avvitati

(cortesia Reasol)

La regolazione dell’immersione di ossigeno in funzione della concentrazione di ossigeno nella vasca avviene secondo il seguente schema:



Se per ipotesi la quantità di aria immessa nella vasca venisse mantenuta costante, la concentrazione di ossigeno nella vasca varierebbe in funzione delle variazioni della portata oraria dell'impianto, nonché della quantità e del tipo delle sostanze da rimuovere. Pertanto, per mantenere nella vasca la concentrazione ottimale di ossigeno, è necessario regolare di continuo la portata d'aria del dispositivo di aerazione. Ciò viene effettuato mediante un relais di minimo e di massimo. Dopo aver stabilito il valore di ossigeno ottimale, si imposta sul relais il valore minimo sotto al quale esso non deve scendere e il valore massimo oltre il quale non deve salire, entro una fascia possibilmente non troppo ampia attorno al valore ottimale. Il dispositivo min/max confronta in continuazione il valore effettivo di ossigeno con i valori impostati. Se tale valore scende sotto al limite minimo, il relais invia al dispositivo di aerazione un segnale predisposto per avviarlo o per aumentarne la portata. Se esso sale sopra il limite massimo, il relais invia al dispositivo di aerazione un segnale predisposto per fermarlo o per ridurne la portata.

Per ottenere una buona regolazione e mantenere sempre la concentrazione di ossigeno più vicina possibile al valore ottimale è dunque necessario

- disporre di una misurazione dell'ossigeno accurata, senza eccessive variazioni, in modo da poter impostare i valori di minimo e massimo entro una fascia possibilmente stretta
- avere un dispositivo di minimo e massimo affidabile e semplice da impostare
- evitare possibilmente un esercizio di attacca/stacca, ricorrendo ad una turbina o altro dispositivo di aerazione a portata variabile (ad esempio soffianti con motore a regolazione di frequenza), o per lo meno regolabile su due portate, una massima e una ridotta.

Il consumo di ossigeno dell'impianto dipende dal BOD in entrata e dalla nitrificazione, e pertanto deve venire adeguato in continuazione all'effettivo fabbisogno. Come già detto, la misurazione della concentrazione di ossigeno nell'impianto viene effettuata mediante una sonda polarografica. In quasi tutte le sonde del commercio il catodo è protetto da inquinamenti mediante una membrana gaspermeabile. Poiché la concentrazione dell'ossigeno varia in funzione della temperatura, la maggior parte degli ossimetri del commercio è dotata di compensazione automatica della temperatura. Anche la pressione

influenza la concentrazione dell'ossigeno, ma soltanto gli strumenti più perfezionati prevedono la compensazione automatica della pressione. In linea di massima la misura dell'ossigeno non subisce particolari interferenze; solo quantità molto elevate di anidride carbonica o di anidride solforosa possono provocare problemi e rendere inservibile l'elettrodo, mentre ammoniacca e biossido di cloro non disturbano.

Un'attenzione particolare deve essere riservata al posizionamento dell'elettrodo. A seconda del tipo di impianto, della forma delle vasche, del sistema di aerazione e del tipo di movimento dell'acqua e dei fanghi, le concentrazioni di ossigeno possono presentare differenze anche notevoli da un punto all'altro dell'impianto. Ad esempio in vasche quadrate con aerazione centrale si possono formare zone morte negli angoli, in vasche rettangolari in cui l'acqua e il fango vengono immessi da uno dei lati stretti e l'aria compressa da uno dei lati lunghi o dal basso, in modo uniforme per tutta la lunghezza della vasca, il movimento dell'acqua può assumere un andamento a spirale orizzontale con una conseguente concentrazione di ossigeno in salita da un lato stretto all'altro. In sostanza si formano alcune zone in cui l'ossigeno immesso nella vasca viene consumato immediatamente e pertanto la sua concentrazione non può aumentare, e altre zone in cui il consumo di ossigeno nell'unità di tempo è inferiore alla quantità di ossigeno immesso, per cui la sua concentrazione risulta notevolmente superiore. In casi del genere la scelta del punto in cui posizionare l'elettrodo è sempre frutto di un compromesso, per cui è meglio ricorrere a due elettrodi, sistemati in due punti diversi. Una situazione analoga si verifica in vasche rettangolari allungate, aerate mediante due o più turbine. Anche in casi del genere la concentrazione dell'ossigeno aumenta gradatamente dall'entrata fino all'uscita dell'acqua. Un andamento del genere si può verificare soltanto in impianti aerati in modo uniforme lungo tutto il percorso dell'acqua dall'entrata fino all'uscita. Se invece l'aerazione viene effettuata in un solo punto, la concentrazione dell'ossigeno diminuisce da quel punto fino all'uscita dell'acqua, rapidamente se il consumo di ossigeno è elevato, più lentamente se il consumo è inferiore.

Da quanto detto risulta chiaramente che non è possibile dare indicazioni generiche relative al punto in cui installare la o le sonde dell'ossigeno. Piuttosto è senz'altro raccomandabile determinare sperimentalmente il profilo delle concentrazioni di ossigeno nei vari punti dell'impianto e in diverse condizioni di carico mediante un buon analizzatore di ossigeno portatile prima di procedere all'installazione di uno o più elettrodi fissi. Tali misurazioni consentono anche di riscontrare eventuali anomalie di funzionamento dell'impianto,



dovute ad esempio a flussi irregolari, e di eliminarle prima di scegliere i punti per l'installazione degli elettrodi. In presenza di differenze di concentrazione significative è consigliabile ricorrere a due o tre elettrodi fissi, installati nei punti critici. Lo strumento illustrato qui accanto (cortesia Reasol) consente di rilevare contemporaneamente le misure provenienti da due o tre elettrodi e di usare come valore di riferimento uno dei valori rilevati, oppure la media dei due o tre valori. L'immissione dell'aria può essere regolata impiegando il segnale in uscita da 4 a 20 mA relativo al valore medio dell'ossigeno, sempre in funzione, mentre la concentrazione dell'ossigeno può essere rilevata contemporaneamente in ognuno dei due o tre punti di misura, azionando un apposito commutatore.

Le medesime considerazioni sono valide se l'acqua da trattare viene convogliata in parti uguali in due vasche parallele dotate di sistemi di aerazione gemelli, alimentati da una sola soffiante. Teoricamente in tal caso sarebbe sufficiente ricorrere a un punto di misura dell'ossigeno solo in una delle vasche, ma in pratica è difficile ottenere una ripartizione uniforme dell'acqua nelle due vasche e pertanto il BOD può avere valori diversi nelle stesse. Per questa ragione è opportuno prevedere un'aerazione indipendente per ciascuna di esse (con possibilità di collegamento in caso di riparazioni o manutenzione). In tal caso lo strumento illustrato più sopra può essere equipaggiato con uscite separate per i due elettrodi, per consentire una regolazione separata dell'aerazione nelle due vasche. Un ulteriore vantaggio consiste nel fatto che due vasche con condizioni simili forniscono un controllo continuo reciproco. Eventuali anomalie, o la necessità di pulire o ritarare gli elettrodi vengono segnalate automaticamente qualora vengano riscontrate differenze insolite tra i valori di ossigeno misurati nelle due vasche.

Normalmente l'elettrodo o gli elettrodi vengono installati a una certa profondità, mediante tubi o bracci appositi forniti dai costruttori degli strumenti. In linea di massima la profondità è di 0,5-1 m a una distanza di 0,5-1 m dalla parete della vasca (qualche ricercatore raccomanda una profondità di circa un terzo della profondità della vasca, con un limite massimo di 3 metri). L'elettrodo va posizionato in modo da evitare che bollicine d'aria possano aderire alla membrana che ricopre il catodo. Per questo motivo è preferibile che l'elettrodo non sia verticale, ma inclinato con un angolo di circa 45 gradi, con la punta dell'elettrodo in basso, rivolta in senso contrario al flusso dell'acqua. Se la velocità dell'acqua è insufficiente bisogna ricorrere al teleagitatore, tenendo presente che il modello a paletta oscillante, avvitata sulla punta dell'elettrodo, provvede anche ad allontanare gentilmente eventuali bolle d'aria. E' opportuno installare lo strumento di misurazione in prossimità degli elettrodi, per rendere più agevoli le operazioni di taratura. Nello stesso tempo è però opportuno prevedere un cavo di collegamento con una lunghezza di una decina di metri in più del necessario, per poter eventualmente spostare l'elettrodo successivamente all'installazione, qualora in un secondo momento si riscontrasse un punto più favorevole per la misurazione dell'ossigeno. Pertanto è necessario ottenere dal fornitore dell'ossimetro la garanzia che un allungamento del cavo di trasmissione del segnale dall'elettrodo allo strumento di misura non influisca negativamente sulla precisione della misura stessa.

Come già detto più sopra, la determinazione della concentrazione effettiva di ossigeno può essere corretta soltanto se lo strato d'acqua a contatto con l'elettrodo viene rinnovato con una velocità sufficiente per reintegrare l'ossigeno consumato dall'elettrodo stesso (almeno 20 cm/cm<sup>2</sup>/sec per la superficie del catodo). Se il movimento dell'acqua nel punto scelto per l'installazione dell'elettrodo è insufficiente, si raccomanda di ricorrere ad un elettrodo con teleagitatore incorporato per ottenere un buon risultato.

E' importante considerare infine le necessità di manutenzione e di taratura degli analizzatori di ossigeno e degli elettrodi. Sono da preferire strumenti praticamente privi di deriva, che attualmente esistono sul mercato, e che possono rimanere in funzione per periodi di tempo molto lunghi, senza bisogno di ritaratura. Quanto agli elettrodi, essi sono soggetti a sporcamento, a eventuali danneggiamenti della membrana e a deterioramento o perdita di elettrolita, e pertanto richiedono una manutenzione periodica. In base alla natura delle reazioni al catodo e all'anodo l'elettrolita degli elettrodi passivi subisce un progressivo deterioramento e deve essere sostituito con una certa frequenza, mentre nell'elettrodo attivo esso rimane inalterato e non richiede la sostituzione se non in seguito a rottura della membrana e a suo conseguente inquinamento. Inoltre il catodo dell'elettrodo attivo rimane inalterato nel tempo, mentre nell'elettrodo passivo può subire

una degradazione, che può rendere necessaria una smerigliatura periodica per ripristinare la sua efficienza. Il calo di efficienza di un elettrodo passivo avviene progressivamente giorno dopo giorno, ma la “rigenerazione” può essere effettuata solo di tanto in tanto. Perciò nel periodo di tempo tra una rigenerazione e l'altra si ha una “deriva” dovuta all'elettrodo, che va ad aggiungersi all'eventuale deriva dello strumento e che necessita pertanto di un'adeguata correzione. Invece, nel caso di elettrodo attivo la manutenzione si rende necessaria soltanto in seguito a foratura della membrana (che può essere provocata da piccoli corpi aguzzi eventualmente presenti nel depuratore), oppure se si ha la sensazione che la misura dell'ossigeno non sia più corretta. Data l'assenza di deriva degli strumenti più evoluti del mercato, la seconda eventualità è piuttosto remota, tuttavia, anche per un elettrodo attivo è buona norma procedere almeno ogni 6 mesi a un controllo, con eventuale rabbocco dell'elettrolita.

**Dopo ogni operazione** di rabbocco dell'elettrolita per l'elettrodo attivo, o di sostituzione dell'elettrolita e smerigliatura del catodo per l'elettrodo passivo, è necessario procedere alla sostituzione della membrana, che deve aderire al catodo senza alcuna piega. Per ottenere con sicurezza tale risultato si può ricorrere a membrane preassemblate dal fornitore su un raccordo che viene semplicemente avvitato sulla punta dell'elettrodo, oppure ad un apposito posizionatore per membrana, che rende facile e veloce l'operazione. La membrana nuova posizionata sull'elettrodo richiede un certo tempo per il suo assestamento. Durante questo tempo la ritaratura dell'elettrodo subisce una certa variazione. Perciò, dopo la ritaratura effettuata al momento della manutenzione, è buona norma effettuare dopo 24 ore una seconda ritaratura che, negli strumenti privi di deriva, rimane poi stabile nel tempo.

Il sistema di taratura più comodo e preciso è quello effettuato in aria. Con gli elettrodi attivi è sufficiente la taratura a un solo punto in aria, mentre per gli elettrodi passivi è richiesta inoltre la taratura dello zero in acqua a contenuto zero di ossigeno (in pratica una soluzione contenente solfito di sodio catalizzato). La taratura a un solo punto in aria è particolarmente vantaggiosa, in quanto permette anche di effettuare in qualsiasi momento controlli molto veloci del buon funzionamento dello strumento.

Sia un elettrodo attivo che un elettrodo passivo possono essere soggetti a sporco e in tal caso debbono essere lavati con acqua e sapone, con l'aiuto di un panno o di una spazzola morbida. La frequenza della pulizia dipende dalla misura dello sporco. In linea di massima non è necessario intervenire fintanto che la risposta dell'elettrodo non viene rallentata dallo sporco.

Per la determinazione del profilo delle concentrazioni di ossigeno in un impianto è opportuno ricorrere ad un elettrodo collegato ad uno strumento portatile mediante un cavo sufficientemente lungo e fissare l'elettrodo ad un bastone di circa 2 m di lunghezza, per poterlo immergere agevolmente nei punti scelti per le misurazioni. La quantità d'aria immessa nell'impianto deve corrispondere all'incirca al consumo presunto di ossigeno del momento e deve rimanere costante per tutta la durata delle misurazioni. La valutazione del consumo di ossigeno del momento può essere effettuata in modo molto semplice, registrando l'andamento della concentrazione di ossigeno dall'inizio dell'immissione dell'aria. Si fissa provvisoriamente un valore minimo e massimo ragionevoli per la concentrazione dell'ossigeno e si rileva il tempo necessario per raggiungere il valore massimo, mettendo in funzione la o le soffianti a partire dal valore minimo e fermandole al raggiungimento del valore massimo. Se il valore massimo viene raggiunto velocemente, ad esempio in circa 30 minuti, e se la successiva discesa del valore fino al minimo avviene molto più lentamente, ad esempio in un'ora, ciò significa che la quantità di ossigeno

immessa nell'impianto è decisamente superiore al fabbisogno. Se la concentrazione di ossigeno a partire dal minimo sale invece molto lentamente, ciò significa che la quantità di ossigeno immessa nell'impianto è solo di poco superiore al fabbisogno. Se la quantità di ossigeno immessa nell'impianto corrisponde approssimativamente al fabbisogno, la concentrazione di ossigeno oscillerà più o meno attorno al valore medio, senza mai raggiungere il minimo o il massimo. Questa è la condizione migliore per rilevare un profilo significativo delle concentrazioni di ossigeno nell'impianto.

Dopo aver scelto 10-15 punti di misura equidistanti, si immerge l'elettrodo in ciascuno di essi fino alla stabilizzazione della lettura (oscillazioni non superiori a più o meno 0,1 ppm O<sub>2</sub>). E' importante usare un elettrodo con un tempo di risposta veloce (ad esempio 95% del valore in 10 secondi), per poter effettuare rapidamente tutte le misure. In questo modo le 10-15 misurazioni possono essere effettuate in circa 30 minuti e risultare pertanto significative, in quanto durante questo tempo la concentrazione di BOD nell'impianto può variare solo di poco (in seguito a variazioni del BOD dell'acqua in entrata). Va tenuto presente che la velocità di risposta indicata è riferita ad una temperatura costante. Infatti, se l'elettrodo ha una temperatura diversa da quella dell'acqua, la misura diventa costante soltanto dopo che l'elettrodo ha raggiunto la medesima temperatura dell'acqua, il che può richiedere un certo tempo, soprattutto per elettrodi di plastica. Pertanto è utile mantenere l'elettrodo immerso nell'acqua tra una misura e l'altra. In una vasca rettangolare ogni misura va effettuata ad una profondità di circa 1 m e ad una distanza di circa 1 m dalla parete della vasca (è molto comodo marcare con nastro adesivo la profondità di 1 m sul bastone al quale è stato fissato l'elettrodo e la distanza di 1 m sul cavo dell'elettrodo). In reattori circolari, dotati di turbina di aerazione al centro, è necessario scegliere almeno 3-4 punti di misura radiali (6-8 punti sul diametro completo) ad una distanza minima di almeno 2 metri dalla turbina, fino ad una distanza massima di 20-30 cm dalla parete esterna. Se il perimetro del reattore è accessibile, è utile misurare anche la concentrazione di ossigeno lungo lo stesso, per controllare l'omogeneità della miscelazione. Se il carico di BOD è variabile, è opportuno effettuare le misurazioni ripetutamente, con diverse condizioni di carico.

E' opportuno registrare le misure effettuate in una tabella, con indicazione delle condizioni (giorno e ora, temperatura dell'acqua, tempo meteorologico, portata oraria dell'acqua e dell'aria immesse nell'impianto, inizio e fine delle misurazioni) e riportare i valori in un grafico recante il percorso delle misurazioni (metri) sull'asse delle ascisse e i valori di ossigeno rilevati (ppm O<sub>2</sub>) sull'asse delle ordinate.