

REALISMO, STRUTTURA, INFORMAZIONE

CRISTIAN MARIANI (*)

SUNTO. – Negli ultimi anni alcuni autori (Ladyman e Ross [39]; Floridi [25]; Bynum [9]) hanno discusso in varie forme la possibilità di un realismo ‘informazionale’. L’idea comune a queste proposte è quella di elevare la nozione di ‘informazione’ a concetto centrale sia della nostra pratica scientifica sia della nostra ontologia. Al contempo alcuni importanti esperti in Teoria dell’Informazione Quantistica (Lloyd [40]; Vedral [53]; Chiribella, D’Ariano e Perinotti [14]) hanno espresso l’idea che sia possibile fondare le nostre teorie fisiche seguendo un approccio teorico-informazionale. Nel presente testo intendo mostrare come non vi sia attualmente alcuna chiarezza su che cosa significhi ‘realismo informazionale’. Di conseguenza, indico i motivi per i quali ritengo fuorviante parlare, allo stato attuale, di realismo informazionale come di qualche cosa che possa soppiantare le più comuni forme di realismo scientifico, quella classica e cosiddetta ‘object-oriented’ e quella strutturale. Infine suggerisco che l’unico modo possibile per poter definire il realismo informazionale, e dunque più in generale per poter mantenere una attitudine realista nei confronti della Teoria dell’Informazione Quantistica, sia attraverso una posizione strutturale ma di tipo moderato o *epistemico*.

ABSTRACT. – In recent years, many scholars (Ladyman & Ross [39]; Floridi [25]; Bynum [9]) have been discussing the possibility of an ‘informational’ realism. The common idea behind these projects is that of taking the notion of ‘information’ as the central concept of both our scientific practice and our ontology. At the same time, many experts in Quantum Information Theory (Lloyd [40]; Vedral [53]; Chiribella, D’Ariano & Perinotti [14]) have developed the idea that it is possible to ground all our physical theories by following an information-theoretic approach. In what follows, I aim at showing that it is still not at all clear what does it mean to be an ‘informational realist’. Consequently, I show the reasons why I believe is misleading to talk about informational realism as something that could actually supersede the most common forms of realism, namely the standard ‘object oriented’ and the structural ones. Finally, I suggest that the only plausible way to define informational realism, and thus, more generally, to take a realist attitude towards Quantum Information Theory, is that of assuming an epistemic and moderate structural position.

(*) Università degli Studi di Milano, Italia. E-mail: cristian.mariani@unimi.it

1. UNA SEMPLICE DOMANDA

Negli ultimi decenni la filosofia della scienza ha posto al centro di un più ampio dibattito filosofico il tema del realismo strutturale. In generale, con 'strutturalismo' si intende una certa prospettiva per la quale è essenziale e prioritario lo studio delle componenti strutturali all'interno di un certo dominio di studio. Come è noto, tale posizione può essere difesa in molti ambiti come ad esempio in campo linguistico, antropologico, psicologico o matematico. In filosofia della scienza questa posizione ha una storia di ormai oltre un secolo, potendo essere rintracciata negli scritti di autori come Poincaré, Duhem o Russell. Lungo l'arco del Novecento essa ha avuto alterne fortune, e il merito di aver riportato questa posizione al centro del dibattito spetta senza dubbio a John Worrall ([54]), che nel 1989 pubblica un testo che ancora oggi è fra i più citati e discussi. Worrall ripropone questa tesi nel tentativo di preservare una attitudine realista, benché in un senso minimale e moderato, nei confronti delle nostre teorie scientifiche. Infatti prima di Worrall il realismo scientifico sembrava a molti una posizione difficilmente sostenibile, soprattutto in ragione delle molte critiche, anche eterogenee, che esso aveva subito da parte di autori come Kuhn, Feyerabend, van Fraassen o Laudan. Il realismo strutturale è visto da Worrall come l'unica possibilità di mantenere una forma di realismo in grado di rispondere a queste critiche. Circa un decennio dopo Worrall, riprendendo le sue idee James Ladyman ([38]) propone una versione di realismo strutturale più radicale e *metafisica*, il Realismo Strutturale Ontico, con l'idea di fornire una teoria che meglio rappresenti il contenuto della fisica moderna. In questa sua forma radicale, lo strutturalismo propone una nuova ontologia con la pretesa di soppiantare il realismo classico 'object-oriented'; in estrema sintesi, i costituenti ultimi del mondo non sarebbero oggetti o 'atomi' ma strutture e relazioni, *il mondo è struttura*.

Il rapporto fra realismo e fisica nel novecento è complesso e tormentato. L'interpretazione standard della meccanica quantistica è spesso vista come una vittoria dell'anti-realismo e di posizioni pragmatiste o strumentaliste in filosofia della scienza. Come è noto però, l'interpretazione standard non è l'unica via possibile, e nel corso dei decenni diverse alternative hanno cercato di colmare quel gap esplicativo che secondo molti è connaturato all'interpretazione standard. Se però in molti hanno indagato il rapporto fra realismo 'classico' e interpretazioni

della fisica quantistica, poco è stato detto sul rapporto che invece ha il realismo strutturale con questa annosa questione, definita da van Fraassen il problema *par excellence*: come è fatto il mondo se la meccanica quantistica è una teoria vera? L'affermazione che poco si sia detto o scritto al riguardo può sembrare paradossale, soprattutto dal momento che molti autori, come il già citato Ladyman ad esempio, hanno affermato che il realismo strutturale radicale è una posizione preferibile proprio in ragione della sua capacità di meglio esprimere il contenuto della fisica quantistica e della relatività generale, le due teorie fisiche più importanti. Eppure, come ha notato Esfeld ([21]), lo strutturalismo sembra trovarsi di fronte a un dilemma laddove non sappia prendere posizione a favore di una delle interpretazioni possibili della meccanica quantistica. Lo stesso Esfeld però, rifiuta *a priori* la possibilità che lo strutturalismo possa abbracciare da ultimo l'interpretazione standard, e assume implicitamente che una qualsiasi interpretazione sia tale solo fintanto che fornisca una risposta al 'problema della misura', il che non accade appunto nel caso dell'interpretazione standard. Eppure, una risposta al dilemma di Esfeld può forse trovarsi in alcune pagine di *Every Thing Must Go* di Ladyman e Ross ([39]), libro che è una sorta di manifesto ideologico del realismo strutturale radicale e della metafisica naturalizzata. Qui gli autori discutono del problema della misura prendendo esplicitamente le parti di Jeffrey Bub, fisico teorico fra i maggiori al mondo ed esperto in Teoria dell'Informazione Quantistica, il quale notoriamente ha abbracciato le idee di Bohr e dell'interpretazione standard definendo il problema della misura uno 'pseudo-problema'. Gli autori presentano quindi una specifica forma di realismo strutturale di tipo radicale che definiscono *teorico-informazionale*: il tema dell'informazione quantistica fa così il suo ingresso nel dibattito sul realismo scientifico.

Nel presente testo tento di fornire una risposta a una domanda che è semplice soltanto nella sua forma, e cioè: che cosa significa essere *realisti informazionali*? Inizialmente mi propongo di ricostruire parzialmente il dibattito sul realismo strutturale e di mostrare quelli che ritengo essere i tre principali elementi di criticità che questa posizione deve affrontare. In secondo luogo presento alcune considerazioni riguardo la Teoria dell'Informazione Quantistica. Valuto poi le proposte più importanti riguardo un realismo di tipo informazionale e, infine, concludo affermando che quella teoria non permette una interpretazione strutturale di tipo radicale come vorrebbe Ladyman, e che piuttosto sembra

valido il suggerimento di tornare ad uno strutturalismo più moderato ed epistemico *à la* Worrall.

2. REALISMO STRUTTURALE EPISTEMICO O MODERATO

Worrall ([54]) introduce il Realismo Strutturale al fine di corrispondere a due argomenti molto forti e intuitivamente accettabili che però, come lui stesso sottolinea, «puntano in due diverse direzioni», e cioè l'uno a favore del realismo scientifico e l'altro in direzione opposta. Il primo fra questi è noto come 'argomento niente miracoli' (NMA) e sostiene, in sintesi, che il successo delle nostre migliori teorie scientifiche sarebbe qualche cosa di miracoloso se quelle teorie non fossero vere, almeno in parte e in modo approssimato (fra gli altri: Putnam, [47]). E dunque, l'argomento conclude, dovendo spiegare il successo predittivo delle teorie, e potendo scegliere fra una spiegazione in termini di un miracolo e la spiegazione in termini di verità, siamo ovviamente costretti a rifiutare la prima scelta in favore della seconda. Questo argomento è stato criticato in diversi modi, e non è ancora oggi chiaro sin a che punto si riesca a fornirne una formulazione del tutto consistente (per una analisi completa: Ainsworth, [1]). Ciò nondimeno, esso sembra racchiudere una intuizione del tutto condivisa fra scienziati e filosofi che riguarda il rapporto fra 'teoria di successo' e 'teoria vera'. Il secondo degli argomenti discussi da Worrall mira esattamente a minare la validità di questo nesso; se le teorie di successo fossero teorie vere, come potremmo dar conto della storia della scienza? Sembra infatti che se volgiamo lo sguardo ai continui cambiamenti e alle rivoluzioni avvenute nel corso della storia, quel nesso inizia ad apparirci molto labile. Laudan ([35]) ha proposto una versione molto chiara di questo argomento che in letteratura prende il nome di 'meta-induzione pessimistica' (PMI). Molto brevemente, l'idea è che se guardiamo alla storia della scienza dobbiamo riconoscere che tutte le teorie che si sono credute vere per un periodo, si sono poi dimostrate false e sono state rimpiazzate. Induttivamente quindi dovremmo ammettere che anche le attuali teorie si dimostreranno false in futuro. Benché anche per questo argomento vi siano diversi elementi di criticità, quel che interessa è seguire Worrall nel suo ragionamento e cioè, una volta ammesso che entrambi gli argomenti siano validi, domandarsi se esista un modo per mantenere la validità di entrambi e preservare così una visione realista della scienza.

La risposta di Worrall è affermativa e segna la data di nascita del realismo strutturale nella sua versione contemporanea ([54]). Concentrandosi su un caso emblematico di rivoluzione concettuale in fisica, il passaggio dalla teoria di Fresnel a quella di Maxwell, Worrall intuisce che benché l'ontologia di fondo cambi radicalmente nei due casi, la struttura formale si mantiene quasi invariata. Quale conclusione ne possiamo trarre? nella parole di Worrall:

There was an important element of continuity in the shift from Fresnel to Maxwell—and this was much more than a simple question of carrying over the successful empirical content into the new theory. At the same time it was rather less than a carrying over of the full theoretical content or full theoretical mechanisms (even in “approximate” form) ... There was continuity or accumulation in the shift, but the continuity is one of form or structure, not of content. ([54], p. 117)

L'idea è dunque che il realismo vada mantenuto non per ciò che riguarda le entità descritte dalle teorie - la loro ontologia - ma per ciò che concerne la struttura matematica delle stesse. Come già accennato, e come lo stesso Worrall riconosce apertamente, questa posizione può essere rinvenuta in diversi autori. A titolo d'esempio leggiamo un passo di Poincaré:

Now, we daily see what science is doing for us. This could not be unless it taught us something about reality; the aim of science is not things themselves, as the dogmatists in their simplicity imagine, but the relations between things; outside those relations there is no reality knowable. (Poincaré [44], xxiv)

Queste considerazioni sono molto significative per almeno tre motivi differenti. Anzitutto Poincaré presenta in embrione un argomento del tutto simile a NMA affermando che noi vediamo chiaramente ciò che la scienza è in grado di fare, quindi appunto il suo 'successo', e che questo successo non può che indicare che la scienza ci dice qualche cosa di vero sul mondo. Il secondo motivo è appunto la dichiarazione che lo scopo della scienza è quello di scoprire le *relazioni* fra cose, in pieno spirito strutturalista. Infine, è degno di nota l'accento kantiano posto da Poincaré nell'affermazione che, al di là di queste relazioni fra cose che la scienza è in grado di riconoscere, non vi è una realtà ultima che sia conoscibile. Lo strutturalismo inteso in

questo senso *epistemico* e *moderato* è chiaramente prossimo ad una prospettiva kantiana.

Tirando le somme dunque, l'intuizione di fondo di NMA è mantenuta adottando un realismo di tipo strutturale attraverso il quale viene a rinforzarsi il legame fra successo di una teoria e verità della stessa. Al contempo inoltre, le preoccupazioni derivanti dal 'theory change' in storia della scienza e da argomenti come PMI sono spiegate sulla base di una differenza fra contenuto ontologico e contenuto formale, laddove il primo cambia nel tempo mentre il secondo si conserva.

3. TRE PROBLEMI DEL REALISMO STRUTTURALE ONTICO

Dopo Worrall la discussione si è molto ampliata, e sarebbe impossibile in questa sede rendere conto di tutti gli elementi degni di interesse che ne sono scaturiti. Mi limito soltanto ad indicare che sono state sollevate almeno due tipologie di critiche all'impostazione di Worrall. La prima è sulla base del fatto che non è chiaro se, e in che misura, la struttura delle teorie si mantenga o meno nel tempo e cioè se non subisca essa stessa mutamenti al pari dell'ontologia. L'altra questione invece riguarda il come sia possibile, posto che vi siano elementi strutturali che non subiscono il 'theory change', riconoscere e individuare quali siano quegli elementi e distinguerli così da quelli che invece mutano. Il dibattito su queste questioni è ancora molto aperto, ma ai fini della mia discussione è invece più rilevante concentrarsi su una questione più generale e che riguarda, potremmo dire, lo 'statuto conoscitivo' della posizione strutturalista. Seguendo Ladyman ([38]) possiamo distinguere almeno due forme di realismo strutturale, la prima che definiamo 'epistemica' (ESR) e la seconda 'ontica' (OSR). ESR esprime l'idea secondo cui l'elemento strutturale delle teorie sia ciò verso cui essere realisti, ma non per questo si afferma che esso sia tutto ciò che c'è nel mondo. Non a caso infatti, come già accennato ESR è stato avvicinato alla filosofia kantiana, nel senso che pone un limite alla nostra conoscenza degli oggetti e suggerisce un certo agnosticismo verso la natura ultima del mondo. In breve quindi, l'idea è che tutta la nostra conoscenza sia di tipo strutturale e a noi è dato conoscere solo le relazioni fra gli oggetti e non gli oggetti in se stessi. Worrall difende esplicitamente questa idea, mentre Ladyman al contrario propone di intendere il realismo strutturale in modo più radicale e 'metafisico', e di abbando-

nare l'idea che vi sia una realtà *a priori* inconoscibile affermando che la struttura sia essa stessa la realtà, e non vi sia nulla di là da questa. Non può essere un caso per altro, che riferendosi alla differenza fra questa posizione e quella kantiana e moderata, Ladyman e Ross ([39]) suggeriscano un parallelo con la filosofia di Hegel dichiarando «we are instances of a Hegelian stance» ([39] p. 62), o ancora «let us own up to being materialist Hegelians» ([39] p. 63). Ancora più chiara la loro distanza da posizioni kantiane è nell'invito ad abbandonare del tutto la differenza fra astratto e concreto:

[...] we reject the dichotomy between the abstract and the concrete, and between the substantival and the structural, in the first place. ([39] p. 186)

Il realismo strutturale radicale o metafisico ha goduto negli ultimi due decenni di sempre maggior interesse e seguito anche fra la comunità scientifica. L'esempio più indicativo di questa tendenza è la posizione del fisico e cosmologo Tegmark ([50]) che ha esplicitamente abbracciato OSR proponendo un ritorno ideale alle idee pitagoriche. Il problema maggiore di queste posizioni, almeno nelle versioni più estreme *à la* Tegmark e Ladyman, sta nel fatto che non è per niente chiaro, posto che astratto e concreto coincidano e che il mondo fisico 'collassi' nella matematica che lo sorregge, in che modo si possa spiegare l'emergenza del livello fisico-concreto da quello puramente matematico-astratto. (Per altro, considerazioni di questo tenore possono con ogni probabilità venire applicate anche alla teoria di cui nel seguito vengo ad occuparmi, cioè la Teoria dell'Informazione Quantistica. Come cercherò di indicare infatti, una volta ammesso che il mondo sia pura informazione - o, come spesso si afferma, sia *software senza hardware* - occorre spiegare in che modo *dall'*informazione emerga un mondo fisico e, almeno apparentemente, concreto.)

Attraverso OSR gli autori intendono compiere una sorta di svolta dalla sfera epistemologica, cui ESR rimane legato, a quella metafisica. Chiaramente una simile operazione, benché molto affascinante, soffre di una serie di problematiche che si presentano su diversi piani. Non essendo possibile nello spazio di questo testo entrare nei dettagli, ho voluto presentare per sommi capi quelle che ritengo essere le tre principali difficoltà che OSR deve fronteggiare. La prima riguarda la *coerenza* di una ontologia come quella proposta spesso dai sostenitori di que-

sta posizione, che sia cioè in grado di mantenere che le relazioni e le strutture siano ontologicamente prioritarie rispetto agli oggetti o relata, o persino che sia *eliminativista* nei confronti di questi ultimi - come ha affermato Saunders 'it's structure all way down' (fra gli altri: Dorato [16]; Psillos [45]; Cao [10]). Una seconda preoccupazione di carattere più metodologico riguarda la *giustificazione* del passaggio dalla tesi moderata ed epistemica ad una tesi più radicale e metafisica. Solitamente tale giustificazione è presentata nella forma di una maggiore aderenza rispetto ai contenuti delle migliori teorie fisiche; affinché OSR si costituisca come una alternativa preferibile rispetto ad altre proposte - ESR su tutte - si richiede quindi che esso sia in grado di spiegare meglio quelle teorie. Il problema è che non è affatto chiaro sino a che punto ciò avvenga (Morganti [41], [42]; Saatsi [48]). Infine, un ultimo punto, strettamente legato a quello della giustificazione, riguarda il rapporto fra realismo strutturale ontico e il problema dell'interpretazione della meccanica quantistica. Esfeld ([21]) ha sollevato questa problematica sottolineando che se OSR non è in grado di fornire strumenti per indicare quale interpretazione sia quella giusta, esso rimane ad un livello generale e rischia di confondersi con ESR.

3.1 *Eliminativismo e coerenza*

Per quanto riguarda la questione della *coerenza*, il problema che forse è maggiormente emerso in letteratura riguarda la necessità, all'interno del quadro teorico di OSR, di spiegare l'esistenza di relazioni che siano ontologicamente prioritarie rispetto ai relata. Questa operazione pare a molti un'impresa impossibile o persino un non senso. Contestualmente, il dibattito su OSR si è perciò intrecciato in modo naturale con la discussione sullo statuto delle proprietà monadiche e delle relazioni. In tale contesto Dipert ([15]) ha difeso l'idea che tutte le proprietà monadiche siano riconducibili a relazioni, e che dunque queste siano la totalità delle proprietà esistenti - o, almeno, che abbiano di fatto priorità ontologica sulle altre. Mertz ([43]) ha inoltre mostrato che l'idea che le relazioni siano primitive - e, dunque, che lo siano le strutture - è perfettamente coerente, ma Ainsworth ([2]) ha fatto notare che sembra non ci sia ancora alcun consenso su questa tematica. French ([26]) ha indicato dei modi per effettuare una ricostruzione effettiva, in termini strutturali, di nozioni come quelle di persistenza, cambiamento e causalità. Tirando un po' le somme, non sembra scorretto dire che la

critica di molti autori a OSR, come nota ad esempio Morganti ([42]), sembra valida solo se riferita all'affermazione che il mondo coincide con la struttura 'matematica', il che implicherebbe in effetti quella certa confusione fra 'matematico' e 'fisico' che Cao ([11]) individua. Ora, è per molti evidente la difficoltà di una spiegazione coerente ed esaustiva di come la sfera fisica 'emerge' da quella matematica; ma l'affermazione di una coincidenza fra astratto e concreto - ad esempio a tratti difesa anche da Ladyman e Ross ([39]) - non sembra sostenuta pienamente se non appunto in rari casi, e dunque non è scorretto sostenere che certe critiche a OSR non sempre colgano l'obiettivo. Recentemente inoltre Dorato ([17]) ha sottolineato che, pur concedendo che la tesi di una coincidenza fra 'fisico'-concreto e 'matematico'-astratto non sia esplicitamente difesa, nondimeno sembra del tutto mancare, ad esempio nell'ultimo ambizioso lavoro di French (2014) su OSR, quanto meno una risposta alla semplice domanda su che cosa sia una struttura *fisica* rispetto ad una struttura meramente matematica. Mancando una risposta, non è chiaro se e in che misura si possa evitare di confondere i due piani.

Generalmente i sostenitori di OSR hanno smussato le proprie posizioni riguardo l'eliminativismo degli oggetti nella nostra ontologia, e se escludiamo casi ormai rari, oggi sembra che la posizione più comune consista nell'affermare una priorità sia gnoseologica sia ontologica delle relazioni sui relata ma senza eliminare del tutto questi ultimi dalla nostra ontologia.

3.2 *Giustificazione*

Se quindi la discussione sulla *coerenza* di OSR sembra tutt'altro che chiusa, la questione invece della sua *giustificazione* può dirsi a stento incominciata. Ho già accennato al fatto che sembra corretto dire che OSR sia una tesi più *forte* e impegnativa di ESR. La sua giustificazione deve dunque avvenire su più piani. Affermare che l'abbandono di ESR permetta di colmare un gap fra epistemologia e ontologia può essere corretto, ma in aggiunta va mostrato come, esattamente, OSR rappresenti una forma di ontologia che meglio esprime il contenuto delle nostre teorie scientifiche. È in tale contesto che si inserisce il dibattito su quello che è probabilmente il maggior argomento addotto dai sostenitori di OSR, quello sulla 'sottodeterminazione' nelle interpretazioni ontologiche degli oggetti - che possono essere considerati *metafisicamente* come individuali o come non-individuali - nel contesto della meccanica quantistica non

relativistica (Ladyman [38]; French e Ladyman [29]; French e Krause [28]). In sintesi l'argomento afferma che:

- (i) secondo un realista scientifico deve essere possibile costruire la nostra ontologia sulla base di che cosa dicono le nostre teorie scientifiche;
- (ii) la nostra migliore teoria fisica, la Meccanica Quantistica, parla di oggetti in conformità di una certa statistica che può essere interpretata in due modi diversi: o ammettendo che gli oggetti - le particelle - siano *individui* con precise condizioni di identità, relative però a qualche cosa di non-empirico come ad esempio una *haecceitas* o una sorta di identità primitiva; o ammettendo che gli oggetti non sono individui poiché sono indiscernibili;
- (iii) il realismo standard, essendo object-oriented, non riesce a 'leggere' in modo univoco una ontologia sulla base della fisica;
- (iv) una ontologia di oggetti conduce ad una sottodeterminazione che è problematica per un realista stante il punto (i) - soprattutto dal momento che essa è al cuore di una delle teorie fondamentali, la meccanica quantistica, la quale certamente non può essere ignorata;
- (v) è possibile fornire una ricostruzione strutturalista dell'ontologia quantistica la quale permette di evitare la sottodeterminazione;

Dunque:

- (C) disponiamo di una ragione valida per abbandonare la nostra ontologia standard in favore di una ontologia strutturale.

La premessa (iv) dipende da (i), che sembra molto condivisibile. Infatti il problema della sottodeterminazione è già noto nel dibattito sul realismo scientifico benché in una forma probabilmente meno grave. Senz'altro esso è un problema per il realista, dal momento che non è chiaro *come* interpretare la teoria laddove i dati sperimentali sono 'indifferenti' a diverse letture, persino se antitetiche. In sintesi quindi, il vero nodo da sciogliere è la premessa (ii), la quale a sua volta implica la (iii). La premessa (ii) si basa su una complessa discussione relativa alla differenza fra le statistiche quantistiche - di Bose-Einstein per i bosoni e di Fermi-Dirac per i fermioni - e la statistica classica di Maxwell-Boltzmann. Le particelle quantistiche sembrano infatti differire notevolmente dalle loro controparti classiche, e non sembrano obbedire al

Principio di Leibniz di Identità degli Indiscernibili (PII). Ne consegue quindi che le particelle possono essere considerate *o* come ‘oggetti non-individuali’ che mancano di precise condizioni di identità *oppure* come ‘oggetti individuali’ la cui identità non è descrivibile sulla base di alcunché di empirico. French e Krause ([28]) hanno approfondito entrambe queste possibilità, portando così avanti la tesi per cui esse siano parimenti accettabili, mutuamente esclusive e che non sia decidibile quale delle due scegliere sulla sola base di che cosa ci dice la fisica. Sembra quindi corretto e legittimo - *se* le cose stanno così - abbandonare una ontologia di oggetti e sostituirla con una di relazioni e strutture come quella di OSR. Ovviamente, al fine di valutare la validità di queste considerazioni sarebbe necessario ricostruire per intero un dibattito molto complesso e articolato, il che è chiaramente impossibile in questa sede. Due punti sono però utili per il proseguo della discussione. Il primo è che non è affatto chiaro se lo strutturalismo, più che porsi come una terza alternativa rispetto alle due interpretazioni del comportamento statistico degli oggetti in meccanica quantistica, sia piuttosto una chiarificazione o riformulazione di una fra questo, e cioè dell’interpretazioni degli oggetti come ‘non-individui’. La breve discussione già fatta sull’eliminativismo sembra intuitivamente confermare questa idea. Per di più, la questione che non è affatto chiara è se davvero dovremmo essere disposti ad abbandonare del tutto la nostra ontologia in ragione di un argomento che, per quanto rilevante e cogente, si presenta di fatto nella veste di un argomento metodologico. O meglio: anche ammesso che la nostra ontologia classica sia in difficoltà (e beninteso che secondo molti autori questo non è il caso; si veda fra gli altri: Bueno [8]; Berto [3]), è legittimo sostituirla con una ontologia strutturale solo per far sì che aderisca meglio alla nostra fisica? Ovvio che un naturalista risponderà positivamente alla domanda, ma difficilmente potrà convincere delle proprie motivazioni chi non è già un naturalista. Infine, non va dimenticato che non è per niente chiaro in che senso lo strutturalismo epistemico sia in difficoltà in questa circostanza.

Difatti, per quanto riguarda la giustificazione dell’adozione di una posizione strutturalista più radicale che si scosti dall’originaria posizione di Worrall, le due principali motivazioni addotte riguardano l’intenzione di colmare un gap fra epistemologia e ontologia che sarebbe conaturato alla versione epistemica e moderata del realismo strutturale, e la volontà di avanzare una proposta metafisica che sia più aderente ai contenuti delle nostre migliori teorie fisiche, la Relatività Generale e la

Meccanica Quantistica. Per quanto riguarda il punto, l'idea è che la versione epistemica sembrerebbe costretta ad ammettere, contemporaneamente, *sia* una epistemologia strutturale e di relazioni *sia* una ontologia di oggetti. In realtà però sembra piuttosto vero il contrario, dal momento che è la versione ontica a doversi impegnare sia sul piano metafisico che su quello epistemologico, circostanza che non pare costituirsi laddove ci si limiti ad una posizione agnostica sull'ontologia così come avviene per il realismo strutturale epistemico (su questo punto: Morganti [42]; Saatsi [48]). In sintesi, benché l'argomento che fa capo alla statistica quantistica sia valido, esso mostra piuttosto le difficoltà di una ontologia standard, ma nulla dice relativamente all'adozione di una posizione strutturalista più forte. In un certo senso anzi, intuitivamente pare piuttosto che i problemi relativi all'interpretazione della meccanica quantistica, sia per quanto riguarda sia per quanto riguarda il problema della misura - come nel prossimo paragrafo intendo mostrare - indichino che l'adozione di una posizione moderata sia preferibile.

3.3 *L'interpretazione della Meccanica quantistica*

Il realismo strutturale ontico intende quindi porsi come la migliore forma di realismo scientifico disponibile sulla base soprattutto del fatto che esso è in continuità con le nostre migliori teorie scientifiche. Ponendo fra parentesi la discussione sul rapporto con la teoria della relatività generale, vi è una questione ulteriore che sembra emergere laddove si supponga che OSR sia una *descrizione* della meccanica quantistica. Come è noto infatti, questa teoria fisica soffre dell'annosa questione dell'interpretazione. Qual è il rapporto fra l'interpretazione della teoria quantistica e il realismo strutturale ontico? La risposta non è chiara. Esfeld ([21]) recentemente ha avanzato una critica proprio sulla base di questo punto, sottolineando che OSR sembra fronteggiare un dilemma: o si impegna nel fornire una risposta riguardo al come le strutture siano di fatto «implementate, istanziate o realizzate» nel mondo, e cioè prenda posizione su quale particolare interpretazione della meccanica quantistica sia quella corretta; oppure rimane ad un livello generale e rischia così di confondersi con ESR. Esfeld nota poi che i tre maggiori candidati per una ontologia della meccanica quantistica siano le interpretazioni del tipo a molti mondi, le teorie del collasso e le teorie a variabili nascoste. Dopo aver analizzato una ad una questa possibilità relativamente all'ontologia proposta da OSR, Esfeld nota

che benché ciascuna opzione sia ammissibile, sembra altresì che quelle determinate interpretazioni dicano qualche cosa di più o di diverso rispetto all'ontologia strutturale.

Dunque, dal momento che la meccanica quantistica è la teoria fisica che come abbiamo visto fornisce le motivazioni maggiori per il passaggio da ESR a OSR, la critica di Esfeld sembra evidenziare un elemento molto rilevante. Nell'introdurre le diverse interpretazioni possibili inoltre, Esfeld afferma che il problema della misurazione è il problema centrale riguardo l'interpretazione della meccanica quantistica, il che è senza dubbio vero. Come è noto però, vi è una serie di approcci al problema in questione che, in un modo o nell'altro, ritengono che esso sia di fatto uno pseudo-problema. Questi approcci sono di solito accostati alla celebre 'interpretazione standard' o 'interpretazione di Copenhagen' della meccanica quantistica che fa capo a Bohr e Heisenberg fra gli altri. Benché molti ritengano che l'interpretazione standard conduca a posizioni strumentaliste o pragmatiste - e dunque lontane dall'istanza realista che dovrebbe guidare anche OSR - il punto che Esfeld pare disconoscere riguarda la possibilità che, di fatto, autori come Ladyman o French intendano esattamente fornire, attraverso lo strutturalismo ontico, una qualche base realista all'interpretazione di Copenhagen. French e Krause, ad esempio, nel volume *Identity in Physics* ([28]) già citato, ricostruendo la storia delle interpretazioni della meccanica quantistica dal punto di vista del problema della statistica e dell'individualità dei costituenti elementari, riconoscono che Bohr sia stato probabilmente l'unico del tutto consapevole che i due 'pacchetti metafisici' - oggetti individuali e oggetti non individuali - sono mutuamente esclusivi e che sia indecidibile quale fra i due adottare. Certamente questa affermazione non equivale ad una adesione all'interpretazione di Bohr o più in generale all'interpretazione standard, non di meno però indica che French e Krause sembrano lasciare aperta la possibilità che quella sia da considerarsi più degna di considerazione di quanto non sembri esserlo invece per Esfeld.

Ancor più rilevante poi, è la posizione espressa da Ladyman e Ross in *Every Thing Must Go* ([39]), libro che è oltretutto un manifesto ideologico dello strutturalismo. Qui gli autori discutono apertamente la posizione di Jeffrey Bub in merito al problema della misura e affermano:

We therefore note with approval that Bub rejects the search for such natures and argues that quantum theories are not about the mechanics

of some imagined microworld at all, and that he defends the claim that the measurement problem is a pseudo-problem precisely because he rejects the demand that QM be applicable to state preparation and measurement devices. ([39] p. 185)

Da questo passo sembra facile dedurre che l'opinione di Ladyman e Ross riguardo il problema dell'interpretazione della meccanica quantistica, se posto nei termini del problema della misura, sia di fatto un falso problema dal momento che, come affermano poco più avanti:

[F]rom the point the view of the theory developed in this book, attempts to inquire into the 'deep nature' of the world over and above the attempt to characterize its modal structure are not strictly speaking meaningless, but they are nonetheless scientifically worthless. ([39] p. 185)

Il rapporto fra strutturalismo ontico e interpretazione della teoria quantistica quindi sembra più complesso di quanto Esfeld ammetta. Ovviamente ciò non implica che il dilemma da lui suggerito per OSR - o si prende posizione nel problema dell'interpretazione *oppure* OSR finisce per coincidere con ESR - non resti in un certo senso aperto. Più precisamente anzi, si può riproporlo contemplando però esplicitamente 'l'opzione Copenhagen' e affermare che: o OSR prende posizione sul problema dell'interpretazione della meccanica quantistica oppure, *rimanendo prossima all'interpretazione standard*, rischia di confondersi con ESR. Posta così la questione, ovviamente, resta da vedere anche se ESR sia di fatto vicina all'interpretazione standard. Worrall in chiusura del testo del 1989 discute del dibattito Bohr-Einstein e afferma:

Is there any reason why a similar structural realist attitude cannot be adopted towards quantum mechanics? This view would be explicitly divorced from the 'classical' metaphysical prejudices of Einstein: that dynamical variables must always have sharp values and that all physical events are fully determined by antecedent conditions. Instead, the view would simply be that quantum mechanics does seem to have latched on to the real structure of the universe. ([54] p. 162)

Worrall sembra dunque suggerire che il realismo strutturale epistemico comporti un rifiuto della posizione einsteiniana e conseguentemente un avvicinamento alle idee di Bohr. Comprendere in che modo, nel passaggio dalla tesi strutturalista epistemica a quella radicale, sorga il bisogno di abbandonare l'approccio di Bohr in favore di uno diffe-

rente non è per nulla chiaro. Nel seguito cerco di mostrare come, stante l'impostazione di Bub condivisa da Ladyman e Ross sul problema della misura, distinguere uno strutturalismo epistemico da uno ontico è di fatto impossibile.

Ho cercato di gettare luce su quelli che ritengo essere i maggiori elementi di criticità dello strutturalismo ontico. Volendo tirare le somme, ho individuato tre diversi problemi: il primo riguarda l'ontologia stessa di OSR, e nello specifico quella che secondo alcuni autori sarebbe una mancanza di coerenza relativamente all'eliminativismo sugli oggetti individuali; il secondo riguarda la carenza di motivazioni per il passaggio da una tesi epistemica *à la* Worrall ad una più radicale e metafisica sulla base di considerazioni metodologiche; infine ho valutato il dilemma che, secondo Esfeld, OSR si troverebbe ad affrontare laddove manca una presa di posizione sul problema della misura in meccanica quantistica. Intendo ora valutare un insieme di proposte di revisione di OSR sulla base della nozione di *informazione*. Questo mi permetterà di tornare alla domanda che mi ponevo al principio sul significato del realismo informazionale e di avvicinare una possibile risposta. Prima però presento molto brevemente alcuni elementi della Teoria dell'Informazione Quantistica (QIT).

4. TEORIA DELL'INFORMAZIONE QUANTISTICA

Occorre anzitutto distinguere fra 'informazione' intesa in un senso semantico (Floridi [24], [25]) e in un senso 'statistico'. Nel primo caso l'informazione è legata a nozioni come quelle di significato, comunicazione e conoscenza. Una visione statistica di informazione invece, è inevitabilmente legata ai lavori di Claude Shannon ([49]). Ai problemi interpretativi già presenti nella teoria classica dell'informazione - fra gli altri, quelli legati al rapporto con altri concetti di informazione come quello di Fisher ([22]) o Chaitin ([13]) - si sono aggiunte, con l'avvento della teoria dell'informazione quantistica, ulteriori e complesse problematiche. Alla domanda 'che cosa è l'informazione quantistica?' sono state fornite almeno tre risposte: (i) Duwell ([19]) ha affermato che non c'è bisogno di un nuovo concetto di informazione e che è sufficiente quello di Shannon (v. anche Lombardi [36]; Lombardi, Holik e Vanni [37]); (ii) Caves e Fuchs ([12]) hanno affermato che l'informazione quantistica è informazione classica codificata in sistemi quantistici, e

Fuchs e Peres ([31]) hanno poi sviluppato su questa linea la teoria 'quanto-bayesiana' (qBism); infine (iii) Josza ([32]) e Brukner e Zeilinger ([4]) hanno sostenuto la necessità di un concetto radicalmente nuovo di informazione che differisca da quello di Shannon, e Bub ([5]) è persino giunto ad affermare che l'informazione quantistica è una nuova 'entità fisica'.

Ora, così come l'informazione classica, anche quella quantistica può essere manipolata attraverso specifici algoritmi, processata con l'uso di computer o trasmessa da un posto all'altro. Una prima sostanziale differenza consiste invece nel fatto che si sostituiscono ai bits classici dei qBits. Il qBits è l'unità base dell'informazione quantistica, e a differenza della controparte classica, per il principio di sovrapposizione della meccanica quantistica, esso può presentare un'infinità di valori possibili per via di uno spettro continuo di probabilità. Vari autori, fra cui Timpson ([52]), hanno sostenuto che la differenza sostanziale fra informazione classica e quantistica consista nel fatto che la seconda è prodotta da una *sorgente* diversa rispetto alla prima. Una sorgente quantistica infatti, invece che fornire come output degli elementi discreti - come è il caso classico - produce sistemi «in particolari stati quantistici p_x con probabilità $p(x)$ » (Timpson [51]). Questa posizione è stata criticata soprattutto sulla base del fatto che, al contrario di come si può pensare, il concetto di Shannon *non* è legato ad una interpretazione della sorgente nei termini di una fisica classica (Duwell [19]). Le proprietà che rendono l'informazione quantistica diversa da quella classica rientrano già nel concetto di 'stato quantistico', e dunque sembra inutile l'invenzione di un nuovo concetto che sia sinonimo di quello vecchio. Un altro modo di mostrare la differenza fra concetto classico e quantistico di informazione, è attraverso la questione della *codifica*. Non a caso, lo stesso Duwell ([20]) è tornato su questa questione mostrando di aver cambiato la sua idea iniziale secondo cui non esisterebbe l'informazione quantistica e abbracciando alcune idee di Timpson. Ovviamente in questa sede non è possibile presentare la molteplicità di posizioni sull'argomento e raggiungere una piena consapevolezza degli elementi filosoficamente rilevanti per comprendere la QIT. Ho non di meno inteso dare una panoramica molto generale di questa teoria al fine di comprendere meglio le posizioni che su di essa intendono fondare un nuovo tipo di realismo scientifico. L'idea principale è che, comunque la si interpreti, QIT presenta una chiara formulazione della meccanica quantistica che sia per altro in grado di indivi-

duare determinati *costrizioni* di tipo epistemologico: il mondo di cui facciamo esperienza e di cui le nostre teorie parlano, obbedisce a queste costrizioni indipendentemente da come intendiamo descriverlo. Le costrizioni, dovrebbe essere chiaro anche dal poco che si è detto, sono espresse all'interno di QIT nei termini di possibilità o impossibilità di trasmettere e ricevere informazioni. Infine, è utile notare che il modo in cui interpretiamo la possibilità e impossibilità in questo contesto, se in termini di modalità epistemica, di modalità nomologica o di modalità logica, ci indica nuovamente le tre differenti interpretazioni della teoria, e cioè rispettivamente quella di Fuchs e Peres, quella di Bub e quella di Duwell.

5. REALISMO E INFORMAZIONE

5.1 *Il Realismo strutturale informazionale di Luciano Floridi*

Nel corso degli ultimi anni Luciano Floridi ha proposto di porre la nozione di *informazione* al centro della filosofia, e ha indicato diversi luoghi in cui questa operazione va portata avanti. In particolare Floridi propone che si ponga questa nozione al centro dell'etica e dell'epistemologia, ma oltre a questi ambiti discute più nello specifico di quello che egli definisce un *realismo strutturale informazionale* (ISR). Per Floridi porre la nozione di informazione al centro permette di superare il conflitto fra le due forme di realismo strutturale, quella epistemica e quella ontica. Anzitutto leggiamo cosa dice Floridi a proposito dell'informazione:

[...] a concept as fundamental and important as being, knowledge, life, intelligence, meaning, or good and evil ([23], p. 134)

Un altro punto fondamentale per comprendere la proposta realista di Floridi riguarda il suo *metodo*, che egli definisce 'costruttivista' e 'kantiano'. Il punto che mi preme evidenziare riguarda quello che secondo Floridi sarebbe la possibilità di 'specificare' il *noumeno* kantiano, in un certo oltre Kant, attraverso quello che Floridi stesso definisce un 'argomento trascendentale'. Attraverso questo si giunge alla conclusione che il noumeno sia composto di 'dati primordiali', altrimenti chiamati da Floridi *dedomena*:

mind-independent points of lack of uniformity in the fabric of Being [...] They are pure data or proto-epistemic data, that is, data before they are epistemically interpreted. As 'fractures in the fabric of Being', they can only be posited as an external anchor of our information, for *dedomena* are never accessed or elaborated independently of [an epistemic model of reality]. They can be reconstructed as ontological requirement, like Kant's noumeno ([25], p. 85)

Dunque l'ISR di Floridi 'presuppone' l'esistenza di una realtà indipendente dalla mente e - seguendo il NMA - sostiene che le nostre teorie scientifiche ci dicono qualcosa di vero su di essa. Inoltre, come ogni versione di realismo strutturale, si impegna ontologicamente in direzione della struttura della realtà e non degli oggetti. A differenza delle precedenti versioni però, ISR supporta «una interpretazione informazionale» ([25] p. 339) di questa struttura sulla base dell'esistenza dei 'dati primordiali'. Floridi perviene così alla sua posizione realista che sintetizza in questi termini:

[...] informational realism [is] the view that the world is the totality of informational objects dynamically interacting with each other. ([23])

Vorrei ora presentare un argomento generale contro la posizione di Floridi e in particolare contro la possibilità che la sua posizione si costituisca realmente come una alternativa al realismo strutturale epistemico e ontico. Mi chiedo cioè se davvero si possa considerare 'trascendentale' la conoscenza dei *dedomena* di cui parla Floridi, e se davvero essa corrisponda allo spirito kantiano. Credo basti rileggere un passo molto famoso di Kant per convincersi del contrario:

Chiamo trascendentale ogni conoscenza che si occupa non di oggetti, ma del nostro modo di conoscenza degli oggetti, in quanto questa deve essere possibile *a priori* ([34] A12).

In spirito kantiano, Floridi avrebbe dovuto limitarsi ad affermare, al limite, che i *dedomena* sono condizioni necessarie dell'esperienza, ma non 'caratteristiche' della realtà in se o persino essi stessi la realtà in se. Di fatto, anzi, applicare al noumeno una delle categorie (del gruppo della relazione nello specifico, senza il quale definire i *dedomena* appare impossibile) è esattamente ciò che Kant ritiene errato. In tal senso quindi ISR di Floridi resta legata ad una versione epistemica di strutturali-

simo, e anche laddove sia ammissibile l'introduzione dei *dedomena* questi andrebbero più correttamente pensati sul piano puramente epistemico. Che essi 'appartengano' alla realtà in se è qualche cosa di molto distante dall'istanza kantiana.

5.2 *Ontologia digitale e ontologia digitale quantistica*

Floridi insiste nel distinguere la sua posizione dalla cosiddetta Ontologia Digitale (DO) e dal Pancomputazionismo. Vorrei brevemente concentrarmi su questo aspetto perché ritengo che Floridi abbia ragione nel distinguere il realismo informazionale da DO, ed è quindi utili valutare le tre diverse critiche che Floridi avanza contro questa teoria. In estrema sintesi le critiche sono le seguenti:

- 1) DO richiede un cambiamento radicale nelle nostre pratiche scientifiche;
- 2) DO commette l'errore di applicare la dicotomia *analogico-digitale* alla realtà in se, laddove è possibile applicare queste nozioni soltanto ai nostri 'modelli';
- 3) DO richiede più *memoria* di quanta sia fisicamente disponibile.

Ora, vi sono dei controargomenti per ciascuna di questi punti, io mi concentrerò solo su (3) perché Bynum ([9]) ha proposto una modifica di DO in termini quantistici (QDO) che permette di evitare la critica. Come? torniamo alla critica, e leggiamo in Floridi:

Here is a very simple illustration: Lloyd (2002) estimates that the physical universe, understood as a computational system, could have performed 10^{120} operations on 10^{90} bits [. . .] since the Big Bang. The problem is that if this were true, the universe would 'run out of memory':

To simulate the Universe in every detail since time began, the computer would have to have 10^{90} bits — binary digits, or devices capable of storing a 1 or a 0 — and it would have to perform 10^{120} manipulations of those bits. Unfortunately, there are probably only around 10^{80} elementary particles in the Universe. (Ball, 2002) [citato in Floridi [25], p. 323]

Il punto però è che l'argomentazione di Ball è valida soltanto per la DO classica e ammettendo una ontologia fatta di *bits* classici (che

cioè abbiano solo valori 1 o 0) cui corrisponde un *automa cellulare* classico. Qualora si passi ad una DO Quantistica e si sostituiscano i bits con i qBits, questa smette di essere valida. Per il Principio di Sovrapposizione della meccanica quantistica infatti, i qBits presentano una infinità di valori possibili mediante uno spettro continuo di probabilità. Vorrei ora accennare *en passant* ad una questione che trovo di molto interesse riguardo a questo aspetto. Abbiamo detto che la critica di Floridi è valida per la DO ma non per la QDO; quest'ultima è una ontologia che pare sia proposta ad esempio da autori come Seth Lloyd - ([40]) attraverso il motto 'it from qBit' che va letto come 'gli oggetti derivano dall'informazione'. Occorre ricordare che vi è una differenza sostanziale fra QDO e un SR informazionale quantistico. La prima dovrebbe infatti essere una ontologia del discreto (appunto digitale). Occorre ora chiedersi se non ci sia un qualche problema nel considerare, appunto, la QDO una ontologia appunto *digitale*. Intuitivamente a me pare che questa visione incontri problemi in ragione del fatto che si reinserisca un continuo nella descrizione dell'automa cellulare quantistico; ammesso anche che questo non crei problemi di 'visualizzazione' - che significa che il mondo è un gigante QCA? - il problema è anche metodologico. Infatti, da Zuse in avanti, tutti i sostenitori di DO riaffermano che un tratto distintivo di questa ontologia risiede nella sua semplicità e intuitività - come in una sorta di *paradiso riduzionistico*. La semplicità e soprattutto l'intuitività sembrano del tutto svanire nel passaggio ad una DO di tipo quantistico.

5.3 *Il Realismo strutturale teorico-informazionale di Ladyman e Ross*

Se quindi la posizione di Luciano Floridi intende proporre, attraverso la nozione di informazione, una sintesi fra la posizione epistemica e quella ontica dello strutturalismo, la posizione di Ladyman e Ross (2007) intende far uso dell'informazione per approfondire e rafforzare lo strutturalismo ontico. Con Floridi gli autori condividono il rifiuto dell'Ontologia Digitale sia classica sia quantistica, ma si distanziano nel rifiuto di un'ideologia kantiana. Leggiamo un passo importante della loro proposta:

[W]e return to the claim that the world is made of information and distinguish between two interpretations: (i) The world is made of a new substance [...] called information ('infostuff'). (ii) The world is not made

of anything and information is a fundamental concept for understanding the objective modality of the world, for example, laws, causation, and kinds. We reject (i) as a further example of domesticating metaphysics, but we have a lot to say about (ii) in the rest of this book. We may entertain the endorsement of information-theoretic fundamentalism in the following [...]: 'it is impossible to distinguish operationally in any way reality and information ... the notion of the two being distinct should be abandoned' (Zeilinger 2004, 219). ([39], p 189)

E' chiaro che il rifiuto dell'infostuff' equivalga al rifiuto di DO e di QDO, e inoltre qualche pagina prima gli autori dichiarano anche «siamo scettici a proposito della 'grande sintesi' della scienza con la teoria dell'informazione». Vorrei ora presentare quello che secondo me è un vizio di forma nella presentazione del problema da parte degli autori. Gli autori infatti - come ho già avuto modo di mostrare - abbracciano esplicitamente l'interpretazione di Bub:

We therefore note with approval that Bub rejects the search for such natures and argues that quantum theories are not about the mechanics of some imagined microworld at all, and that he defends the claim that the measurement problem is a pseudo-problem [...] precisely because he rejects the demand that Q[uantum]M[echanics] be applicable to state preparation and measurement devices. ([39] p. 185)

Come notato giustamente da Kallfelz ([33]), la modalità - impossibilità e possibilità - di Bub è chiaramente una modalità intesa in senso puramente nomologico. Ora il punto è che gli autori in un passo importante del libro, descrivendo la 'modalità oggettiva del mondo' scrivono:

for modal read 'nomological' if you like

abbracciando già di fatto l'interpretazione di Bub implicitamente e prima di discuterla, e scartando le altre possibili letture. Questa mi pare quasi una *petitio principii*, nel senso che la decisione fra 'quale' concezione scegliere fra le tre è inevitabilmente compromessa dal fatto di far coincidere il senso di modalità con quello di 'modalità nomologica'. Se ora torniamo all'ultima parte dell'ultima citazione che abbiamo fatto notiamo che nel discorso torna il problema generale dell'interpretazione della teoria quantistica. Per un realista scientifico è ovviamente un problema quando c'è qualche forma di sottodeterminazione e quando i dati possono essere interpretati in più modi: si vorrebbe che il

mondo ci indicasse in modo diretto e ‘univoco’ come esso e fatto. Credo che in un certo senso il problema della sottodeterminazione si riproponga anche al livello della QIT, nella forma appunto delle diverse interpretazioni, e questo per il realismo è un problema. Timpson afferma, a proposito di Bub, che egli di fatto non presenta alcuna ‘interpretazione’ della teoria, anch’egli - come Esfeld già discusso - legando il problema dell’interpretazione al problema della misura. Dal punto di vista di OSR le obiezioni di Timpson possono essere rigettate poiché quel che si deve provvedere è solo la descrizione e «caratterizzazione della struttura modale del mondo», in un senso tale da rendere la questione quasi un non-senso. In tal modo però, occorre chiedersi che fine abbia fatto l’appellativo ‘ontico’ o ‘radicale’ in questa posizione di Ladyman e Ross. Dire che si rifiuta la differenza fra astratto e concreto non basta, occorre in aggiunta che si mostri in che modo questo accada. Se il mondo *non* è informazione e si rifiuta l’approccio ‘infostuff’, e se si insiste che l’informazione è un concetto essenziale solo per quanto concerne la struttura nomologica del mondo, non è per niente chiaro in che modo questa posizione si distanzi dalla versione epistemica di strutturalismo.

6. REALISMO STRUTTURALE EPISTEMICO-INFORMAZIONALE

In conclusione, credo di aver mostrato che la proposta di Floridi non riesce a costituirsi coerentemente come una vera alternativa al realismo epistemico e ontico. Questo significa che se vogliamo un realismo che sia strutturale e in qualche modo informativo dobbiamo cercare altrove. Per quanto riguarda il realismo informativo ontico, oltre ai molti problemi presentati all’inizio del mio testo, dobbiamo anche far notare che occorre distinguere questa posizione da una ontologia digitale classica o quantistica, e questo compito appare più complesso di quanto non sembri in prima istanza. Per quanto riguarda infine l’altra forma disponibile di strutturalismo, quella epistemica, suggerisco soltanto che come abbiamo visto non è ancora esclusa in alcun modo. E anzi, a mio modo di vedere, potrebbe essere la forma migliore per rappresentare in concreto il senso della QIT. In fondo, anche se ci muoviamo in un contesto intuitivo, avremmo un realismo che ci dice pressappoco ‘tutto quel che conosciamo è struttura, e questa struttura in qualche senso è reale’; e poi abbiamo una teoria fisica che ci dice che il mondo è

descrivibile coerentemente e in modo chiaro attraverso il concetto di 'informazione'. Sembra che basti unire queste due proposizioni e affermare: tutto quel che conosciamo è struttura, e questa struttura è di tipo informazionale. Ladyman e Ross sembrano descrivere esattamente questa posizione, e probabilmente Bub ha in mente qualche cosa di simile. Le difficoltà emergono solo laddove si voglia far collapsare del tutto il fisico-concreto in questa descrizione formale. Ho già accennato che uno dei maggiori problemi del realismo strutturale ontico consiste nella difficoltà di spiegare l'emergenza del concreto dall'astratto; portare al mezzo del discorso la nozione di informazione, più che chiarire o superare il problema lo rendono molto più acuto. E infine, ammettendo una posizione più radicale il dilemma di Esfeld relativo al rapporto con il problema dell'interpretazione della meccanica quantistica è difficilmente aggirabile. Non vi è dubbio alcuno che l'interpretazione standard non vada scartata a priori, ma va riconosciuto che se la si abbraccia diventa molto difficile *spiegare* che cosa significhino gli appellativi 'ontico', 'radicale' o 'metafisico'. Forse invece, restando all'interno di una impostazione strutturalista moderata, si può persino sfruttare il problema dell'interpretazione della meccanica quantistica per indicare un limite insuperabile della versione ontica, poiché questa se intende fornire una descrizione 'compiuta' del mondo fisico *deve* fornire una descrizione compiuta del funzionamento degli apparati di misura, e quindi, di nuovo, prendere posizione relativamente al problema della misura.

Sembra quindi che mantenere una attitudine realista nei confronti della Teoria dell'Informazione Quantistica sia possibile solo a patto che si accetti l'interpretazione di Copenhagen, esattamente come propone Jeffrey Bub. Ma abbracciando questa interpretazione e rifiutando di considerare il problema della misura un vero problema, l'unico realismo possibile è un realismo moderato ed epistemico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AINSWORTH, P. (2008): *Structural Realism: A critical appraisal*, PhD Thesis, London School of Economics and Political Science (UK);
- [2] ——— (2010): 'What is Ontic Structural Realism?', *Studies in History and Philosophy of Science Part b*, **41**, 50-57.
- [3] BERTO, F. (2016): 'Counting the Particles: Entity and Identity in the Philosophy of Physics' [forthcoming in], *Metaphysica*.
- [4] BRUCKNER, Č. e ZEILINGER, A. (2001): 'Conceptual Inadequacy of the

- Shannon Information in Quantum Measurements', *Physical Review*, **63**, #022113.
- [5] BUB, J. (2004): 'Why the Quantum?', *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **35**, 241-66.
- [6] ——— (2007): 'Quantum Information and Computation', in Butterfield, J. e Earman, J. (ed.), *Philosophy of Physics*, Amsterdam, Elsevier, pp. 555-660.
- [7] BUENO, O. (1999): 'What is Structural Empiricism? Scientific Change in an Empiricist Setting', *Erkenntnis*, **50**, 59-85.
- [8] ——— (2014): 'Why Identity is Fundamental', *American Philosophical Quarterly*, **51**, 325-332.
- [9] BYNUM, T. W. (2013): 'On the Possibility of a Quantum Informational Structural Realism', *Minds and Machine*, **4** (1), 4-17, (2014)
- [10] CAO, T. (2003a): 'Can We Dissolve Physical Entities into Mathematical Structures?', in Symonds, J. (ed.), *Special Issue: Structural Realism and Quantum Field Theory, Synthese*, **136**, 57-71.
- [11] ——— (2003b): 'Structural Realism and the Interpretation of Quantum Field Theory', *Synthese*, **136**, 3-24.
- [12] CAVES, C. e FUCHS, A. (1996): 'Quantum Information: How Much Information in a State Vector?', in Mann, A., e Revzen, M. (ed.), *The dilemma of Einstein, Podolsky and Rosen - 60 years later. Annals of the Israel Physical Society*, Michigan, Institute of Physics, pp. 226-257.
- [13] CHAITIN, G. (1987): *Algorithmic Information Theory*, New York, Cambridge University Press.
- [14] CHIRIBELLA, G., D'ARIANO, M. e PERINOTTI, P. (2011): 'Informational Derivation of Quantum Theory', *Physical Review A*, **84**, 012311.
- [15] DIPERT, R. (1997): 'The Mathematical Structure of the World: the World as Graph', *Journal of Philosophy*, **94**, 329-358.
- [16] DORATO, M. (2000): 'Substantivalism, relationism and structural spacetime realism', *Foundations of Physics*, **30**(10), 1605-1628.
- [17] ——— (2015): 'The physical world as a blob: is OSR really realism?', [forthcoming] *Metascience*.
- [18] DORATO, M. e MORGANTI, M. (2013): 'Grades of Individuality. A Pluralistic View of Identity in Quantum Mechanics and the Sciences', *Philosophical Studies*, **163**, 591-610.
- [19] DUWELL, A. (2003): 'Quantum Information does not exist', *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **34**, 479-99.
- [20] ——— (2008): 'Quantum Information Does Exist', *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **39**, 195-216.
- [21] ESFELD, M. (2013): 'Ontic structural realism and the interpretation of quantum mechanics', *European Journal for Philosophy of Science*, **3** (1), 19-32.
- [22] FISHER, R. (1925): 'Theory of Statistical Estimation', *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, **22**, 700-725.
- [23] FLORIDI, L. (2008): 'A defense of Informational Structural Realism', *Synthese*, **161**, 219-253.

-
- [24] ——— (2010): *Information. A very short Introduction*, Oxford, Oxford University Press.
- [25] ——— (2011): *The Philosophy of Information*, Oxford, Oxford University Press.
- [26] FRENCH, S. (2003): 'Scribbling on the Blanck Sheet: Eddington's Structuralist Conception of Objects', *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **34**, 227-259.
- [27] ——— (2014): *The Structure of the World: Metaphysics and Representation*, Oxford, Oxford University Press.
- [28] FRENCH, S., e KRAUSE, D. (2006): *Identity in Physics: A Formal, Historical and Philosophical Approach*, Oxford, Oxford University Press.
- [29] FRENCH, S. e LADYMAN J. (2003): 'Remodelling Structural Realism: Quantum Physics and the Metaphysics of Structure', *Synthese*, **136**, 31-56.
- [30] FUCHS, C. (2002): 'Quantum Mechanics as Quantum Information (and only a little more)', in Khrennikov, A. (ed.), *Quantum Theory: Reconsideration of Foundations*, Växjö, Växjö University Press, pp. 463-543.
- [31] FUCHS, C e PERES, A. (2000): 'Quantum theory needs no interpretation', *Physics Today*, **3**, 70-72.
- [32] JOSZA, R. (1998): 'Quantum Information and its Properties', in Lo, H., Popescu, S. e Spiller, T. (ed.) *Introduction to Quantum Computation and Information*, Singapore, World Scientific, pp. 49-75.
- [33] KALLFELZ, W. (2013): 'Ontic Structural Realism, Information, and Natural Necessity: Where Naturalism and Analytic Metaphysics Can Find Common Ground', *Philosophy of Science Archives* (on-line), preprint.
- [34] KANT, I. (1976): *Critica della ragione pura*, a cura di G. Colli, Adelphi, Milano.
- [35] LAUDAN, L. (1981): 'A confutation of convergent realism', *Philosophy of Science*, **48**, 19-49.
- [36] LOMBARDI, O. (2004): 'What is Information?', *Foundations of Science*, **9**, 105-134.
- [37] LOMBARDI, O., HOLIK, F. e VANNI, L. (201x): 'What is Quantum Information', *Philosophy of Science Archives* (on-line), preprint.
- [38] LADYMAN, J. (1998): 'What is Structural Realism?', *Studies in History and Philosophy of Science*, **29**, n. 3, 409-24.
- [39] LADYMAN, J. e ROSS, D. (2007): *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*, Oxford, Oxford University Press.
- [40] LLOYD, S. (2006): *Programming the Universe: a quantum computer scientist takes on the universe*, Alfred A. Knopf.
- [41] MORGANTI, M. (2004): 'On the preferability of epistemic structural realism', *Synthese*, **142**, 81-107.
- [42] ——— (2010): 'Is there a compelling argument for Ontic Structural Realism?', *Philosophy of Science*, **78**, 1165-1176.
- [43] MERTZ, D. (1996): *Moderate Realism and its Logic*, Yale, Yale University Press.
- [44] POINCARÉ, H. (1952): *Science and Hypothesis*, New York, Dover.
- [45] PSILLOS, S. (2001): 'Is Structural Realism Possible?', *Philosophy of Science*, **68**, S13-S24.

- [46] ——— (2006): ‘The Structure, the *Whole* Structure and Nothing *but* the Structure?’, *Philosophy of Science*, **73**, 560-570.
- [47] PUTNAM, H. (1975): *Mathematics, Matter and Method*, Cambridge, Cambridge University Press.
- [48] SAATSI, J. (2009): ‘Whence Ontological Structural Realism?’, in Suarez, M. (ed.), *EPSA Epistemology and Methodology of Science*, Dordrecht, Springer.
- [49] SHANNON, C. (1948): ‘The Mathematical Theory of Communication’, *Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423.
- [50] TEGMARK, M. (2007): ‘The Mathematical Universe’, *Foundations of Physics*, **38**, 101-150.
- [51] TIMPSON, C. (2006): ‘The Grammar of Teleportation’, *The British Journal for the Philosophy of Science*, **57**, 587-621.
- [52] ——— (2008): ‘Philosophical Aspects of Quantum Information Theory’, in Rickles, D., (ed.), *The Ashgate Companion to the New Philosophy of Physics*, Aldershot, Ashgate Publishing, pp. 197-261.
- [53] VEDRAL, V. (2010): *Decoding Reality*, Oxford, Oxford University Press.
- [54] WORRALL, J. (1989): ‘Structural Realism: The best of both worlds?’, *Dialectica*, **43**, 99-124.